

TFG 2016/2017:

**PROCESO DE CALIFICACIÓN AMBIENTAL NUCLEAR Y
APPLICACIÓN DEL MISMO POR EL MÉTODO DE ENSAYO
DE TIPO K1 SOBRE UN EQUIPO ELECTROMAGNÉTICO
PARA UNA CENTRAL NUCLEAR SEGÚN LA NORMATIVA
FRANCESA RCC-E**

INDICE

1. I. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Índice comentado
- 1.2. Importancia del tema
- 1.3. Características especiales
- 1.4. Criterios de evaluación

2. II. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

3. III. GRUPO TECNATOM

- 3.1. La empresa, el departamento y sus funciones

4. IV. CALIFICACIÓN NUCLEAR

- 4.1. Objetivo Calificación: Diferencia entre calificación y dedicación nuclear
- 4.2. Procesos de calificación
 - 4.2.1. Equipos calificables
 - 4.2.2. Clasificación de equipos calificables según su funcionalidad
 - 4.2.3. Métodos de calificación
- 4.3. Método de calificación por ensayo
 - 4.3.1. Características operacionales
 - 4.3.2. Características ambientales y sísmicas
 - 4.3.3. Ciclo de vida
 - 4.3.4. Condiciones de ensayo
 - 4.3.5. Criterios de aceptación
 - 4.3.6. Secuencia de ensayos
 - 4.3.7. Calidad del proceso
- 4.4. Calificaciones según la normativa RCC-E

4.4.1. Calificación en condiciones de ambiente normal

4.4.2. Calificación de tipo K3

4.4.3. Calificación de tipo K2

4.4.4. Calificación de tipo K1

4.4.5. Tabla de calificaciones

4.5. Introducción al accidente tipo L.O.C.A. (según EPRI)

4.5.1. SBLOCA

4.5.2. LBLOCA

5. V. CALIFICACIÓN NUCLEAR K1 DE UN EQUIPO ELECTROMAGNETICO

5.1. Documentación de referencia y Normativa RCC-E para la confección de un programa de calificación tipo K1

5.2. Organización y Responsabilidades de ensayo

5.3. Requisitos de calificación

5.3.1. Dominio de aplicación del proceso

5.3.2. Equipo a calificar; Características del equipo

5.3.3. Características del equipo

5.4. Elaboración y ejecución del procedimiento del ensayo sísmico-ambiental

5.4.1. Confección del programa de ensayos

5.4.2. Planificación de los ensayos

5.4.3. Ejecución y resultados de los ensayos

5.4.4. Informe final de la calificación

6. VI. PLANIFICACIÓN ECONÓMICA

7. VII. CONCLUSIÓN

8. VIII. BIBLIOGRAFÍA

9. IX. ANEXOS

Índice de Figuras

Figura 3.1-1 – Cuotas de propiedad Tecnatom

Figura 3.1-2 – Evolución histórica de la empresa

Figura 3.1-3 – Filiales Tecnatom

Figura 3.1-4 – Proyectos Tecnatom en el mundo

Figura 3.1-5 – Cuotas de mercado de Tecnatom

Figura 3.1-6 – Organigrama Tecnatom

Figura 4.1-1 – Proceso de dedicación

Figura 4.3-1 – Ciclo de vida de un componente calificado

Figura 4.4-1 – SRS según RCC-E

Figura 4.4-2 – SRS según RCC-E más la respuesta SRE de ensayo

Figura 4.4-3 – Modelización del SRS y obtención del SER

Figura 4.5-1 – Pérdida de refrigerante en el inicio de LBLOCA

Figura 4.5-2 – Núcleo de la contención en by-pass de LBLOCA

Figura 4.5-3 – Reinundación del núcleo

Figura 4.5-4 – Líquido en el reactor durante LBLOCA

Figura 4.5-5 – Recirculación del vapor tras la reinundación de las barras de combustible

Figura 4.5-6 – Evolución de la temperatura en LBLOCA

Figura 4.5-7 – PCT, Peak Clad Temperature

Figura 5.2-1 – Jerarquía de ingeniería de calificación

Figura 5.4-0.2 – Esquema del conjunto del equipo a ensayar

Figura 5.4-2.1 – Configuración de ensayo 2.1

Figura 5.4-2.2 – Configuración de ensayo 2.2

Figura 5.4-2.3 – Configuración de ensayo 2.3

Figura 5.4-2.4A – Tensión del generador de ondas de choque

Figura 5.4-2.4B – Intensidad del generador de ondas de choque

Figura 5.4-2.4 – Configuración de ensayo 2.4

Figura 5.4-4.3 – Ejemplo de desviación de perfiles LOCA

Índice de Tablas

Tabla 4.4-1 – Familias de equipos fuera de la contención

Tabla 4.4-2 – Familias de equipos en la contención

Tabla 4.4-3 – Clasificación de equipos según condiciones ambientales

Tabla 4.4-4 – Grupos de calificación según la RCC-E

Tabla 4.5-1 – Tiempos de LBLOCA

Tabla 5.3-1 – Programa de calificación con planificación por laboratorios

Tabla 5.3-2 – Programa de calificación con planificación por equipos a ensayar

Tabla 5.4-1 – Contactos eléctricos del equipo

Tabla 5.4-1.2A – Parámetros de ensayo 1.2

Tabla 5.4-1.2B – Resultados de ensayo 1.2

Tabla 5.4-1.2C– Criterios de aceptación de ensayo 1.2

Tabla 5.4-1.2D – Condiciones de ensayo 1.2

Tabla 5.4-1.3A – Parámetros de ensayo 1.3

Tabla 5.4-1.3B – Resultados de ensayo 1.3

Tabla 5.4-1.3C– Criterios de aceptación de ensayo 1.3

Tabla 5.4-1.3D – Condiciones de ensayo 1.3

Tabla 5.4-1.4B – Resultados de ensayo 1.4

Tabla 5.4-1.4C – Criterios de aceptación de ensayo 1.4

Tabla 5.4-1.4D– Condiciones de ensayo 1.4

Tabla 5.4.-2.1A – Parámetros de ensayo 2.1

Tabla 5.4-2.1B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 2.1

Tabla 5.4-2.2A – Parámetros de ensayo 2.2

Tabla 5.4-2.2B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 2.2

Tabla 5.4-2.3A – Parámetros de ensayo 2.3

Tabla 5.4-2.3B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 2.3

Tabla 5.4-2.4A – Parámetros de ensayo 2.4

Tabla 5.4-2.4B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 2.4

Tabla 5.4-3.1A – Parámetros de ensayo 3.1

Tabla 5.4-3.1B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.1

Tabla 5.4-3.2A – Parámetros de ensayo 3.2

Tabla 5.4-3.2B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.2

Tabla 5.4-3.3A – Parámetros de ensayo 3.3

Tabla 5.4-3.3B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.3

Tabla 5.4-3.4A – Parámetros de ensayo 3.4

Tabla 5.4-3.4B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.4

Tabla 5.4-3.5A – Parámetros de ensayo 3.5

Tabla 5.4-3.5B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.5

Tabla 5.4-3.6A – Parámetros de ensayo 3.6

Tabla 5.4-3.6B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.6

Tabla 5.4-4.1A – Parámetros de ensayo 4.1

Tabla 5.4-4.1B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 4.1

Tabla 5.4-4.2A – Parámetros de ensayo 4.2

Tabla 5.4-4.2B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 4.2

Tabla 5.4-4.3A – Parámetros de ensayo 4.3

Tabla 5.4-4.3B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 4.3

Agradecimientos

I. INTRODUCCIÓN

1

1.1 Índice comentado

El objetivo de este proyecto es el de definir el proceso completo de una calificación nuclear. Para ello, se abordarán, en base a normativas internacionales tales como las IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), las etapas y modalidades de una calificación nuclear. **(EPÍGRAFE IV.2 y IV.3)**

Una vez definido el modelo internacional de calificación, particularizaremos para la normativa francesa RCC-E (Règles de Conception et de Construction des matériels Electriques des îlots nucléaires) viendo las modalidades de la misma. **(EPÍGRAFE IV.4)**

Finalmente, aprovechando mi paso por la empresa líder en el sector nuclear, Tecnatom mostraremos el proceso completo y real de una calificación nuclear, para la cual participé activamente en labores de concepción, planificación y ejecución de los ensayos de la misma. Se presentará la calificación de un equipo en ambiente severo o “harsh” siguiendo la ya mencionada RCC-E por la metodología de la calificación por ensayo. **(EPÍGRAFE V)**

En la calificación, daremos más importancia, por un lado a los ensayos ambientales, con especial atención sobre el ensayo de envejecimiento térmico **(EPÍGRAFE V.4)**., diseñado y realizado íntegramente en Tecnatom y por otro lado a los ensayos de accidente, en especial, el ensayo de accidente tipo L.O.C.A **(EPÍGRAFE V.4)**. Para una visión más completa del estudio realizado, se presentarán los tipos de accidente de tipo L.O.C.A. más frecuentes **(EPÍGRAFE IV.5)**.

Por detrás de estos aspectos principales, haremos hincapié en la planificación económica **(EPÍGRAFE VI)**, en el procedimiento de seguridad nuclear de la dedicación nuclear, mostrando sus diferencias con la calificación nuclear y el alcance de la misma **(EPÍGRAFE IV.1)**. Para redondear este proyecto y de manera accesoria, este trabajo se completará con una breve descripción de la empresa en el seno de la cual se realizó dicho proyecto **(EPÍGRAFE III)**.

1.2 Importancia del tema

Este proyecto surge de mi puesta en contacto con el sector nuclear. Puesto que no es un campo que se abordó en profundidad en mi titulación, considero que mi estancia en una empresa líder del sector nuclear es una parte imprescindible de mi formación ingenieril. Por ello es una gran oportunidad para mostrar una de las labores básicas para la confección de una CCNN: La calificación nuclear.

La calificación nuclear es el proceso de diseño y ejecución de ensayos que han de realizarse sobre un equipo que vaya a ser instalado en una CCNN de tal modo que pueda garantizarse su funcionamiento sin fallos para un ciclo de vida predefinido. Por ello, la calificación es un proceso regular en las centrales tanto para su puesta en marcha como para su modernización y mantenimiento.

A través del presente documento, se realiza un estudio sobre la calificación nuclear. Comenzando por las generalidades del proceso que definen normativas internacionales (como la IEEE), pasaremos a particularizar el caso de una calificación nuclear de un equipo electromagnético a instalar en una CCNN francesa siguiendo las reglas que establece la normativa también francesa RCC-E. El proyecto finalizará con un ejemplo más visual de la calificación nuclear. Para ello nos valdremos del propio equipo electromagnético a instalar en la CCNN francesa, mostrando la concepción del proyecto, las normativas aplicadas, el diseño de todos sus ensayos, la ejecución y resultados de los mismos y el informe de calificación final.

Por todo lo ya mencionado, podemos afirmar que este proceso elabora una guía de introducción a la calificación nuclear, de tal modo que cualquier ingeniero pudiera valerse del mismo para formarse e ilustrarse para la realización de su primera calificación nuclear apoyándose en las normativas que aplicase tanto para el equipo a calificar como el país de la CCNN.

1.3 Características especiales

Debido a la realización del presente proyecto en una empresa privada, con un contrato de confidencialidad que vincula laboratorios, fabricantes y clientes, los datos del equipo a calificar, así como ciertos parámetros de los ensayos realizados, e incluso ensayos completos, NO PODRÁN SER MOSTRADOS. Tampoco se mostrarán las cifras reales del proyecto. De igual modo, las identidades de las partes implicadas permanecerán anónimas por los motivos ya mencionados.

No obstante, podremos tener una visión global de todo el proceso con un análisis en profundidad de todos los ensayos salvo para los ensayos funcionales en los límites de operación. Esto es así debido a que tanto FABRICANTE como CLIENTE como Tecnatom no aprueban descubrir el equipo concreto que se ensayó y son los ensayos funcionales en los límites de operación los que caracterizan perfectamente la naturaleza del equipo en cuestión.

1.4 Criterios de evaluación

Para una correcta evaluación del proyecto ha de ser tomado en cuenta el estudio del proceso de calificación, de las normativas de seguridad nuclear internacionales, así como su concisa síntesis y explicación. Que se valoren los conocimientos adquiridos con este proyecto en materia de análisis, diseño, planificación y ejecución, así como la capacidad resolutoria y de gestión obtenida a través de mi titulación, la cual se pone de manifiesto en el propio proyecto.

En cuanto a epígrafes se refiere, los **EPÍGRAFES IV y V** son el fruto principal de mi estudio general y específico del método de calificación

En definitiva, este proyecto está concebido como una guía de iniciación al mundo de la calificación, de tal modo que un ingeniero junior sin experiencia en el sector pudiera diseñar un proceso de calificación completo a través del uso de este proyecto y el apoyo en las normativas que aplicasen.

II. DEFINICIONES Y ABREVIATURA

2.1 Abreviaturas

CN (CCNN): Central(es) Nuclear(es)

CEM: Campo Electromagnético

DBA: Design Basis Accident

ECCS: Emergency Core Cooling System)

EPRI: Electric Power Research Institute

EUT: Equipment Under Testing

HELB: High Energy Line Break

IEC: International Electronical Comission

LOCA: Lost Of Coolant Accident

LPSI: Low-Pressure Safety Injection

MSLB: Main Steam Line Break

RCC-E: Règles de Conception et de Construction des matériels Electriques des îlots nucléaires

RCP: Reactor Coolant Pump

RCS: Reactor Coolant System

RWST: Reload Water System Tank

PCT: Peak Clad Temperature

2.2 Definiciones

- Ambiente severo (HARSH): Ambiente que se crea en el edificio de la contención en caso de accidente, creándose un transitorio de presión y temperatura de valores superiores a los de operación normal. Varía su definición según la normativa, pero por lo general se consideran también que el ambiente harsh presentará niveles de radiación superiores a los normales de operación.
- Ambiente suave (MILD): Ambiente existente que, siendo inferior siempre a las condiciones del ambiente severo, solo presenta como DBA el accidente sísmico.

- Clase 1E: Clasificación de un equipo eléctrico y de los sistemas de emergencia del aislamiento del recinto y de la refrigeración, sistema de parada y sistema de extracción de calor del reactor. También puede tratarse de sistemas de prevención de liberación de material radioactivo hacia el ambiente.
- Condiciones atmosféricas: Condiciones normales de ambiente en términos de temperatura, humedad y presión. La RCC-E las define como:

T^a entre 15 y 35 °C

HR entre 25 y 75 %

P entre 86 y 106 KPa

(Consultar tabla de condiciones normales según RCC-E en el Anexo A)

- Condiciones de accidente: Ambiente donde se presenta cualquier DBA además del sismo como, por ejemplo, un accidente tipo LOCA. También conocido como ambiente HARSH o severo. Cada normativa hace su propia definición del mismo.
- Condiciones de Ambiente Degradado: Ambiente donde aparecen condiciones de vapor y radiación inusuales y a su vez inferiores al llamado ambiente HARSH. Cada normativa hace su propia definición del mismo.
- Criterio de aceptación: Son los límites que se le imponen a un parámetro que mida la capacidad de un equipo, componente o sistema de tal modo que pueda desempeñar la función concerniente a dicha capacidad.
- DBA: Accidente base de diseño. Es un accidente teórico para el cual una instalación nuclear debe estar diseñada y construida para resistir sin pérdida de los sistemas, estructuras y componentes necesarios para asegurar el bienestar y seguridad públicos.
- DSD: Sismo con baja probabilidad de suceder pase y llegar a parada segura
- Frecuencia de resonancia: Frecuencia a la que un cuerpo alcanza su vibración máxima. Todo cuerpo o sistema tiene una, o varias, frecuencias características. Cuando un sistema es excitado a una de sus frecuencias características, su vibración es la máxima posible. El aumento de vibración se produce porque a estas frecuencias el sistema entra en resonancia.
- HELB: Rotura de Línea de Alta Energía del circuito primario de una CN

- HPSI: High-Pressure Safety Injection. Sistemas de presurización. Depósito lleno de aire que se vacía al circuito por medio de una válvula anti retorno para aumentar la presión del mismo. Su caudal de inyección está en torno a los 45 litros por segundo a una presión de 135 atm
- KGy (KiloGrey): Es una unidad derivada del que mide la dosis absorbida de radiaciones ionizantes por un determinado material. Un gray es equivalente a la absorción de un julio de energía ionizante por un kilogramo de material irradiado.
- LOCA: Accidente de pérdida de refrigerante por rotura de una línea del circuito primario de la CN.
- LPSI: Sistemas de despresurización. Depósito lleno de aire que se vacía al circuito por medio de una válvula anti retorno para aumentar la presión del mismo. Su caudal de inyección está en torno a los 125 litros por segundo a una presión de 10 atm.
- MSLB: Rotura de una línea de vapor del circuito primario de una CN
- PCT: Temperatura Máxima que puede alcanzar el reactor. Puede variar notablemente según numerosos parámetros del propio LOCA. El valor máximo que puede experimentar este sin dañar su integridad para un futuro funcionamiento en servicio tras LOCA se establece en torno a los 1477 °K.

III. GRUPO TECNATOM

3.1 La empresa, el departamento y sus funciones

Tecnatom, es un Grupo Empresarial español de ingeniería especializado en operaciones y seguridad nuclear, así como en el sector aeroespacial, siendo ésta propiedad de tres de las más importantes eléctricas nacionales. Creada en 1957 para la implantación de la energía nuclear como forma de suministro eléctrico en nuestro país, comenzó desarrollando sus, aún a día de hoy, principales servicios de ingeniería en adiestramiento e inspección nuclear. A partir de los años 80, la empresa realiza fuertes inversiones en materia de I+D+i para ganar una independencia tecnológica que le haría convertirse en uno de los líderes mundiales del sector.

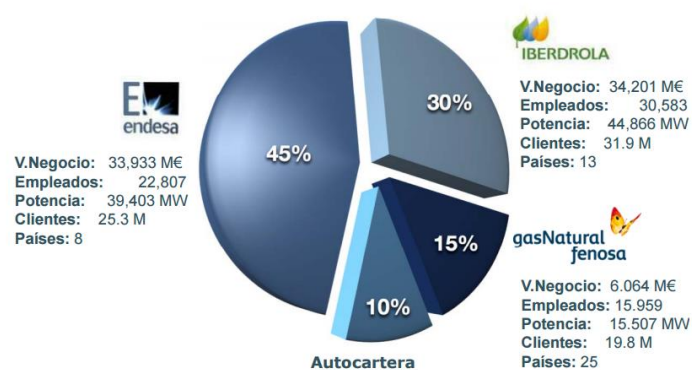


Figura 3.1-1 – Cuotas de propiedad Tecnatom

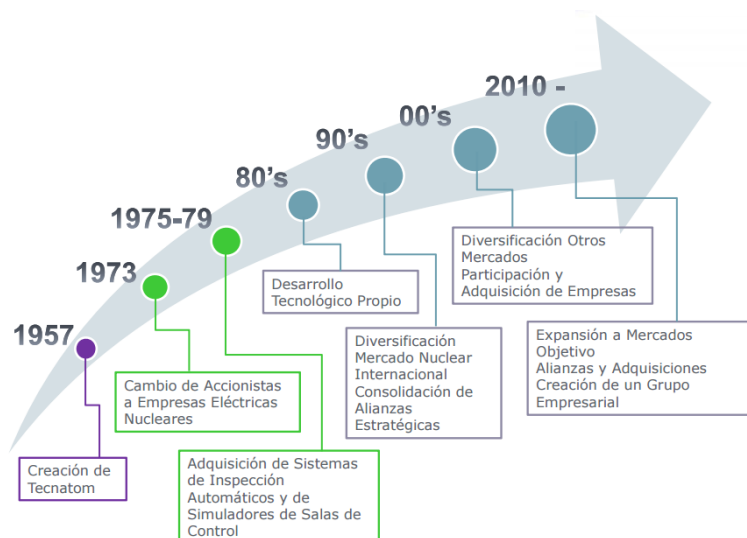


Figura 3.1-2 – Evolución histórica de la empresa

Con casi 60 años de experiencia, a día de hoy su expansión internacional es clara, con 826 empleados repartidos en sus 11 filiales a lo largo de tres continentes operando en proyectos para más de 30 países.



Figura 3.1-3 – Filiales Tecnatom



Figura 3.1-4 – Proyectos Tecnatom en el mundo

A través de su fuerte apuesta tecnológica lleva a cabo un posicionamiento en el mercado nuclear diversificándose y dando lugar a su gama actual de actividades: Servicios de formación, ingeniería, inspecciones y ensayos para todo tipo de plantas de generación de energías, diseño y suministro de sistemas de simulación en salas de control y soluciones con sistemas automáticos robotizados y software NDT como.

Entre sus clientes españoles más destacados encontramos las centrales nucleares de todo el territorio nacional. En cuanto a su cartera internacional aparecen nombres tan notables como Airbus, GE, Rolls Royce, Boeing, GDF Suez, Rotork, Bernard Controls... entre otros.



Figura 3.1-5 – Cuotas de mercado de Tecnatom

Bajo la “Dirección de Servicios de Inspección y Pruebas” y la supervisión del “Gabinete de Dirección” se encuadra la división de “Ingeniería de Componentes” donde encontramos todos los servicios relacionados con la ingeniería nuclear de la empresa, entre ellos, la dedicación y calificación nuclear de componentes y equipos que lleva a cabo la organización EEDE, en la cual se ha desarrollado el proyecto que nos atañe. Siguiendo un modelo de organización jerárquico al uso, el organigrama corporativo queda conformado de la siguiente manera:

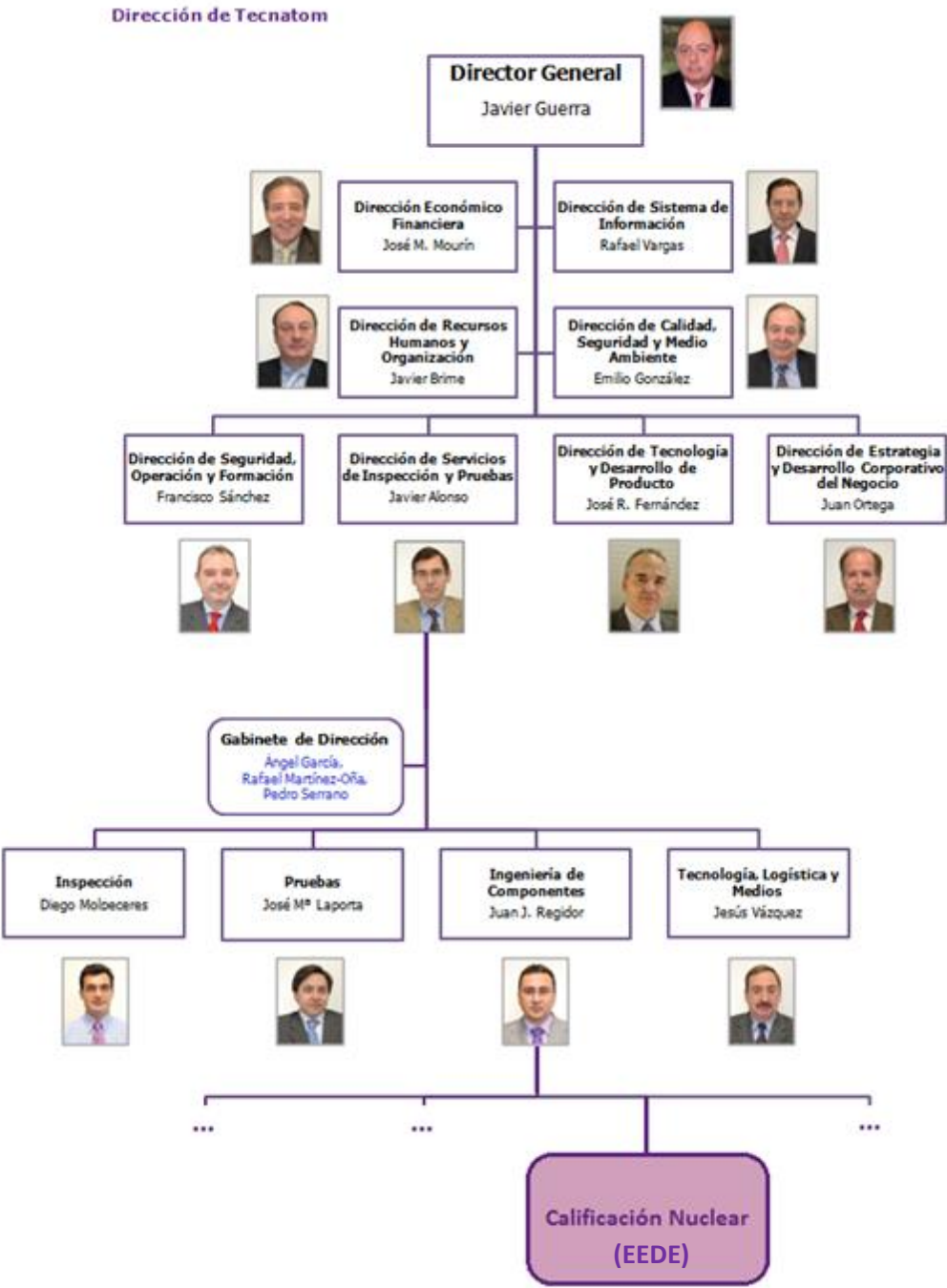


Figura 3.1-6 – Organigrama Tecnatom

IV. CALIFICACIÓN NUCLEAR

4.1 **Objetivo Calificación: Diferencia entre calificación y dedicación nuclear**

Antes de entrar a detallar el presente proyecto de calificación nuclear, hemos de mostrar la diferencia entre los dos procesos de validación de equipos nucleares: Dedicación y calificación nuclear. Esto es necesario porque a pesar de que la finalidad de ambos procesos es idéntica existen notables diferencias entre sus campos de actuación, así como de sus maneras de proceder.

Durante la década de los años 80 del siglo XX, debido a algunos accidentes en diversas centrales de Estados Unidos y otros países, un sector de la comunidad científica junto con un creciente movimiento ecologista propició una ralentización en las actividades del sector. Principalmente, muchos gobiernos se replantearon ciertos proyectos nucleares, llegando incluso a paralizar ciertas construcciones de centrales nucleares (lo que ocurrió, por ejemplo, con la moratoria nuclear española hasta 1997). De manera consecuente, la energía nuclear se vio afectada por la reducción de la producción de equipos nucleares, así como la desaparición de muchos fabricantes.

Dado este panorama de dificultad a la hora de encontrar equipos fabricados según la norma 10 CFR50, la US NRC reconoció el problema con la revisión de la 10 CFR21, quedando definido el término de Dedicación de elementos de Grado Comercial de la siguiente manera:

“Proceso en el que se verifica que un elemento adquirido como de calidad comercial es aceptable para usos relacionados con la seguridad en centrales nucleares. Este proceso deberá ser realizado antes de la utilización de dicho elemento”

Siendo un componente comercial aquel que cumple, simultáneamente, las siguientes condiciones:

- No está sujeto a requisitos de diseño o fabricación específicos para instalaciones nucleares
- Se usa en otras aplicaciones, diferentes de la industria nuclear

- Se adquiere a un suministrador o fabricante en base a especificaciones establecidas en la descripción del producto publicada por el fabricante (P. ej. Un catálogo)

Además, para la dedicación nuclear, las dos actividades básicas que se realizan son:

- Proceso de Evaluación Técnica: A fin de determinar la función de seguridad, establecer los requisitos a cumplir por el nuevo componente y evaluar su capacidad para satisfacer estos requisitos. Las diferentes etapas de un proceso de Evaluación Técnica son las siguientes:
 - Clasificación y análisis funcional del componente
 - Análisis de efectos y modos de fallos (opcional)
 - Determinación de características críticas de diseño
 - Evaluación de las características del nuevo componente
 - Definición de requisitos técnicos y de calidad

Será necesario si se producen modificaciones de diseño o dada una sustitución y reposición de componentes. En cambio, no será necesario en caso de adquisiciones repetitivas de componentes idénticos evaluados previamente.

- Proceso de Aceptación: A fin de verificar y documentar mediante distintos métodos el cumplimiento con los requisitos establecidos. Son el conjunto de acciones que una vez ejecutadas y documentadas, proporcionan una garantía razonable que el elemento comprado cumple los requisitos de la especificación y funcionará satisfactoriamente. Como subconjunto de las características críticas de aceptación del diseño para su elección debe considerarse lo siguiente:
 - Identificación del producto
 - Función e importancia respecto a la seguridad
 - Modo de funcionamiento
 - Complejidad
 - Que estas características puedan ser perfectamente identificables y/o medibles

De manera esquemática, a continuación, se representa en la figura 4.1-1 dicho proceso de dedicación ya explicado:

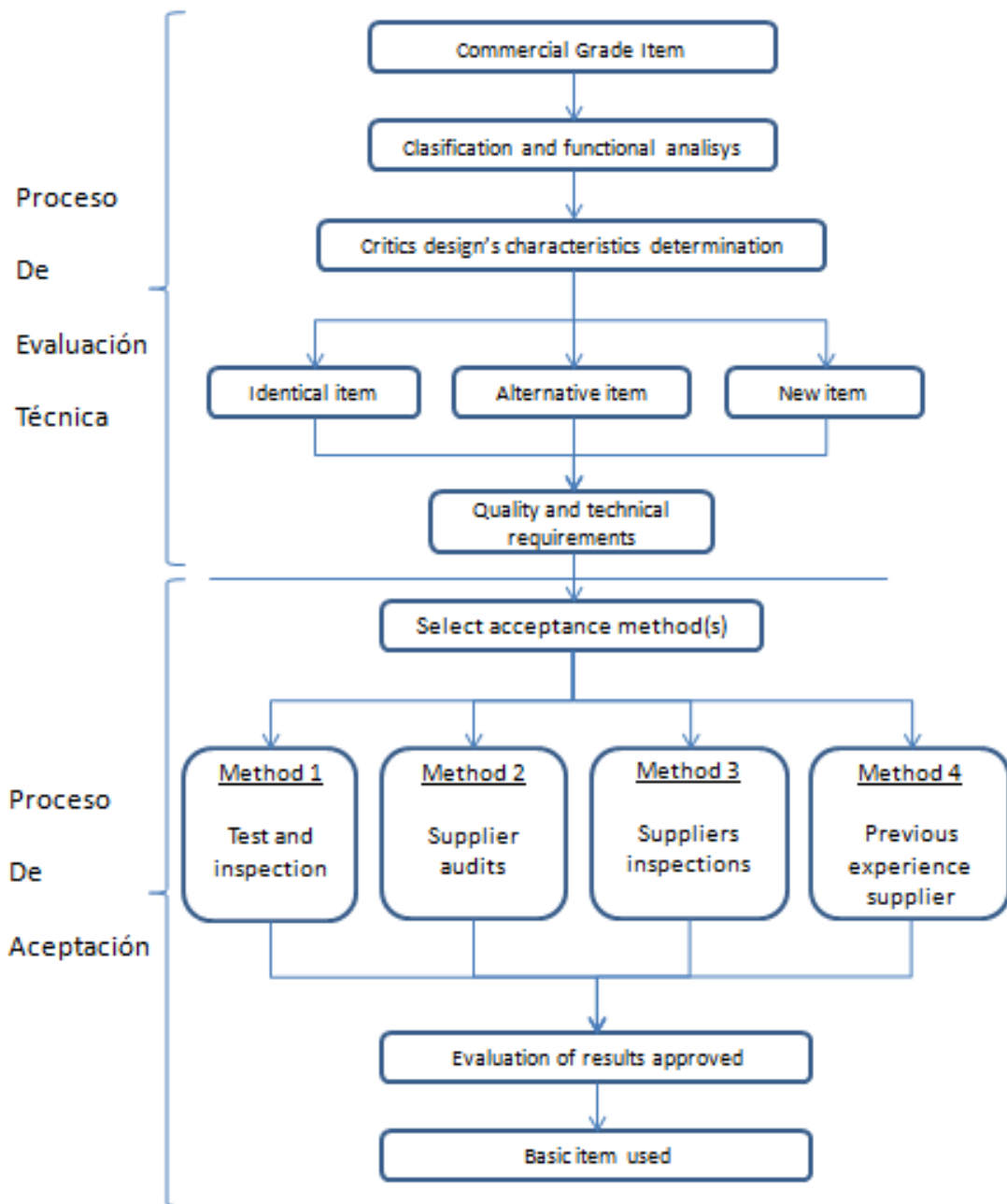


Figura 4.1-1 – Proceso de dedicación

Por otro lado, tendríamos los procesos de calificación nuclear, a través de los cuales, se confirma el buen funcionamiento futuro de un componente nuclear en su ambiente de trabajo durante toda su vida útil, incluso, sufriendo en algún momento de ésta un accidente nuclear

interno (accidente de tipo L.O.C.A., en el circuito secundario...etc.) o externo (como por ejemplo un accidente debido a un terremoto).

El término de calificación queda definido como:

“Generación y mantenimiento de pruebas para asegurarse de que un equipo funciona según demanda para cumplir los requisitos de rendimiento del sistema”

Esta labor se realiza con ayuda de los fabricantes de clase 1E, quienes son los encargados de proveer con equipos diseñados de manera eficiente durante toda su vida calificable en la instalación nuclear. A través de la calificación nuclear se demuestra de manera justificada que la anterior afirmación es correcta.

Con carácter general, los requisitos de calificación exigidos a las Centrales Nucleares en España son los correspondientes a la normativa del país de origen del suministrador del equipo principal. En la mayor parte de esas centrales el suministrador del equipo principal es de los EE.UU., por lo que es la normativa americana la que, actualmente, tiene una mayor aplicación en España. En el caso de la presente calificación, al tratarse de una calificación para una central nuclear francesa, la norma de calificación a seguir será, con carácter principal, la RCC-E, la cual se abordará más adelante junto a otras normativas (clasificables como secundarias) de referencia.

4.2 Procesos de Calificación

4.2.1 Equipos calificables

Los equipos a calificar pueden ser de varios tipos, en función del ambiente en el que actúen en planta, según su principio de funcionamiento y según su función de seguridad en el conjunto de la central. Con todo ello elegiremos el tipo de equipo que debemos calificar. Estos parámetros se definen como:

Ambiente de actuación: Según los ambientes se definen como ambientes severos (harsh) por ejemplo, presencia de líneas de alta energía o ambientes suaves (mild), donde no se aprecian mecanismos de envejecimiento que afecten a los equipos.

Principio de funcionamiento: Según la naturaleza del equipo, es decir, eléctrico o mecánico

Función de seguridad: Según si actúan mitigando accidentes o no

4.2.2 Clasificación de equipos calificables

A su vez, los equipos pueden ser clasificados en tres clases, según su funcionamiento o funciones a desempeñar en servicio. Los subgrupos son:

Equipos necesarios en accidente: Equipos que en caso de accidente en planta han de funcionar durante y después del accidente, como por ejemplo los sistemas de seguridad y elementos de control ligados al funcionamiento directo del reactor.

Equipos necesarios tras accidente Equipos que en caso de accidente en planta su función no es necesaria durante el mismo accidente, pero sí han de ser actuables tras éste, como por ejemplo todos aquellos relacionados con la turbina de generación o el generador eléctrico, por ejemplo.

Equipos no necesarios tras accidente: Equipos que en caso de accidente en planta su función no es necesaria durante el mismo accidente y no es necesario que sean actuables tras éste, como, por ejemplo, equipos indicadores como elementos luminosos, sistemas acústicos, carcasas sin función mecánica o estructural...etc.

4.2.3 Métodos de calificación

Los métodos de calificación consisten en cuatro procedimientos o, más comúnmente, en la combinación de éstos según lo que requiera la normativa y los requisitos del equipo. Los métodos son:

Calificación por ensayo: Es el método más aceptado en el sector nuclear. Consiste en la realización de una serie de ensayos sobre un prototipo del equipo a instalar en planta. Estos ensayos deben simular las condiciones que soportarán los equipos en servicio con el fin de garantizar un funcionamiento seguro a lo largo de toda su vida calificable. Además de las condiciones de trabajo en servicio del equipo, han de tenerse en cuenta las posibles condiciones de accidente a las que el equipo podría verse sometido, así como todos los mecanismos de envejecimiento que pudieran afectar al funcionamiento de este a lo largo de su ciclo de vida.

Calificación por análisis: Con este método se intenta dar una justificación analítica a las capacidades del equipo en planta de cara a que este pueda realizar sus funciones correctamente y con garantías de cumplirlas de manera segura para la instalación y su entorno.

Este método queda algo limitado por las técnicas de análisis actuales, pero sobre todo por el umbral de seguridad establecido en las operaciones nucleares, tanto a nivel interno de empresa como a nivel global normativo. Aun así, se establecerán modelos matemáticos de que simulen el funcionamiento en planta del equipo.

Por todo ello, estos métodos se apoyarán en otros ensayos previamente realizados, de tal manera que se puedan extrapolar/interpolan los ensayos de equipos ya calificados al equipo por calificar. Para esta valoración se tendrán en cuenta:

- Nivel de seguridad: Se deben asegurar los márgenes de seguridad requeridos.
- Nivel de operatividad: Debe ser similares al nivel de funcionamiento al que el equipo deba rendir en planta.
- Mecanismos de envejecimiento: Se intentarán prever los mecanismos de envejecimiento que afectarán al equipo, basándose en equipos contiguos al mismo que actúen en el mismo ambiente, equipos con mismo mecanismo de funcionamiento, etc.
- Composición: Los materiales del equipo han de ser idénticos a los de otros equipos ya ensayados para así poder interpolar los datos.
- Dimensiones: Las dimensiones pueden ser idénticas o, al menos, proporcionales a las del equipo o equipos previamente ensayados.

Todo cambio entre el material a analizar y el material calificado deberá justificarse debidamente como que no afecta a la función de seguridad.

Calificación por experiencia operativa: Este método consiste en justificar que el equipo cumple su cometido mediante documentación de equipos que cumplen los mismos requisitos de un equipo ya calificado previamente. Suele aplicarse en conjunción con los dos métodos anteriores.

En caso de encontrar que el equipo a calificar en caso de accidente tiene una operatividad igual a la de otro equipo calificado en ambiente, se deberá realizar adicionalmente los ensayos o análisis que justifiquen además su servicio en condiciones de accidente.

Calificación combinada: Consiste en la combinación de los métodos anteriores.

Siempre que no se lleve a cabo una metodología estricta de ensayo, se considerará calificado el equipo que cumpla o exceda los requisitos de calificación de los equipos calificados que sirven de modelo para la calificación de éste.

4.3 Método de calificación por ensayo

A continuación, vamos a desarrollar la calificación por ensayo. Como hemos visto es el método más aceptado puesto que simula con rigor todos los posibles escenarios de trabajo de un equipo en planta durante su ciclo de vida calificada, sobre todo, en casos de equipos eléctricos en ambientes severos. Vamos a mostrar las líneas comunes de calificación por ensayo que siguen las normativas nacionales (UNE) e internacionales (IEEE, NRC, IEC, ASME, etc.).

Para implementar los métodos de calificación, es necesario generar programas y procedimientos que evidencien la base técnica del proceso. Para ello han de realizarse cálculos, adquisición y definición de parámetros y elementos que definen la calificación. Estos se muestran a continuación.

4.3.1 Características operacionales

El proceso comienza con la definición del equipo en planta. Se han de definir exactamente sus características en servicio con el fin de dar respuesta a todos sus posibles contratiempos una vez en servicio. Es la primera fase y seguramente una de las más importantes, puesto que de haber definido de manera errónea o incompleta las funciones y capacidades del equipo, la calificación podría complicarse mucho. Las características a definir son:

- Función de seguridad: Debe definirse el nivel de seguridad que el equipo requiere en planta incluso ante la posible aparición de accidentes.
- Requisitos funcionales: Definir claramente lo que la planta necesita del equipo, en qué cantidad, en qué momento, etc. Además, se debe conocer también el

rango de operación del equipo, ya que muchos equipos similares actúan en la central pero su rendimiento dependerá de lo que demande su posición de servicio.

- Capacidades funcionales: Independientemente de la demanda que se le exige al equipo instalado, se ha de conocer su rango de operación ya que en función de este puede ser apto o no para su calificación en unas u otras secciones de la planta.
- Interfases: Deben conocerse las interconexiones con otros equipos para plantear la situación real del equipo en planta.
- Tiempo: También es importante saber durante cuánto tiempo actúa el equipo; no es lo mismo un equipo actuando de manera permanente, periódica o esporádica. Como muestra a continuación la figura 4.3-1, podemos observar como la capacidad funcional varía a lo largo del ciclo de vida del equipo:

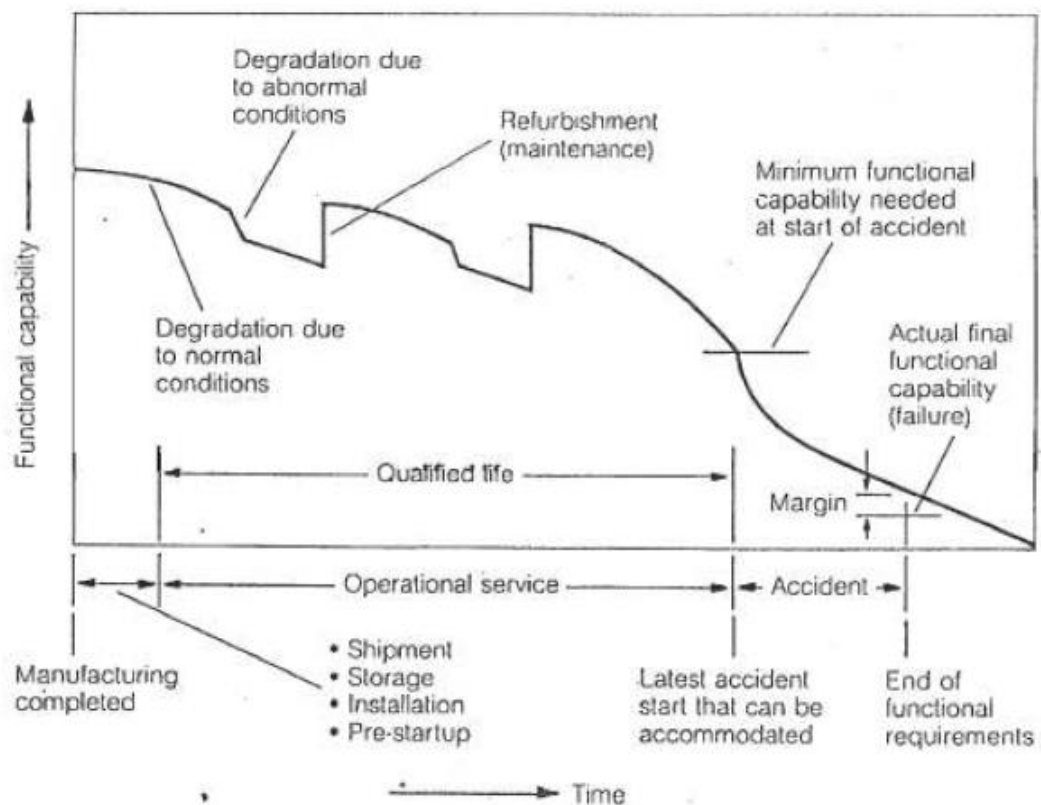


Figura 4.3-1 – Ciclo de vida de un componente calificado

4.3.2 Características ambientales y sísmicas

Tras haber definido las características de operación del equipo instalado, se debe conocer el ambiente en el que actuará. En general, todas las normativas vigentes, contemplan tres ambientes de trabajo claramente diferenciados:

- Ambiente normal: Es el ambiente de trabajo más común en la CCNN. Queda definido por las condiciones normales, las cuales varían según la normativa que estudiemos. A pesar de posibles variaciones en los valores de estas condiciones, todas las normativas definen los parámetros de temperatura, presión, humedad relativa y radiación, como mínimo.
- Ambiente degradado: Ambiente intermedio entre condiciones normales y condiciones de accidente que ocurre cuando hay presente radiación y o vapor en el mismo.
- Ambiente accidental: Ambiente de accidente con condición es termodinámicas de presión y temperatura. En algunos casos también puede contemplar la aparición de niveles de irradiación. Estas condiciones se detallan siempre con un perfil de presión/temperatura. Este ambiente surge cuando aparece un DBA.

En el caso particular que aborda este proyecto, en el apartado 4 de este epígrafe, se hace referencia al concepto de estos ambientes según la normativa RCC-E. Igualmente, estos quedan definidos en el epígrafe 2, definiciones y abreviaturas.

Por otro lado, se definen las condiciones sísmicas a las que podría verse sometido el equipo. Dependiendo del emplazamiento del equipo y del emplazamiento de la CCNN el equipo tendrá mayores o menores probabilidades de sufrir un sismo. Esto se verá posteriormente reflejado en su ensayo sísmico, aplicando simulaciones de sismos de una magnitud distinta.

4.3.3 Ciclo de vida

También conocido como vida calificada, es la franja temporal antes de darse un DBE (por ejemplo, un sismo) para la cual se califica el equipo, garantizando así en este periodo su funcionamiento prolongado. Por tanto, se presupone de lo anterior que el equipo ha de funcionar hasta el último día de su vida calificable incluso bajo condiciones de accidente.

De manera generalizada, encontraremos que los equipos se califican a 40 años, aunque este tiempo puede variar en equipos más delicados viéndose reducido. Por ejemplo, en nuestro proyecto, el equipo será calificado para una vida útil de 20 años. Siendo el cliente el que toma la decisión final en este asunto, se consultó a Tecnatom

para la toma de la misma. Dentro de todas las valoraciones que se hicieron respecto a la CCNN donde se instalarían los equipos, los criterios más importantes fueron:

- La complejidad y delicadeza de los equipos
- La novedad que supone el principio de funcionamiento de los equipos
- La situación de los equipos respecto al núcleo de la central (recordando que éstos se instalarían en la contención)
- El acuerdo de que tras la parada a 20 años (planificada para 2037) se podrían volver a recalificar los equipos para extender su vida 20 años más y así generalizar su uso futuro a 40 años

4.3.4 Condiciones de ensayo

Una vez definido el equipo, con sus características intrínsecas, su interacción en su lugar de operación y sus posibles ambientes de trabajo, se procede a definir las características de los ensayos para la campaña de calificación. Para lo propio, se identifican los siguientes aspectos:

- Muestra de ensayo: Se deberá seleccionar un espécimen idéntico al que se quiere calificar. En caso de tratarse de un equipo que presente alguna modificación, deberá justificarse adecuadamente de tal forma que el equipo se considere equivalente y puedan extrapolarse los resultados al equipo original. Si existiera un conjunto de equipos a calificar con las mismas características, podría elegirse una muestra representativa del conjunto a efectos de extender los resultados de los ensayos al resto.
- Operación: Observando la demanda del equipo en planta, se delimitarán sus niveles de uso mínimo y máximo de sus parámetros eléctricos y mecánicos de cara a que este sea ensayado probando estos niveles.
- Montaje: Se tendrá en cuenta el montaje del equipo en planta para los anclajes de los ensayos. En algunos casos, será muy importante ya que algunos equipos pueden basar su funcionamiento en la fuerza de gravedad (por ejemplo, detectores de nivel).
- Conexiones: Deben reproducirse las conexiones que el equipo experimente en planta, para ver la influencia que puedan tener los ensayos en la alimentación real del equipo.
- Medidas: Deben estar perfectamente definidas todos los parámetros que se van a medir en el equipo con sus tolerancias y criterios de aceptación. Igualmente

deben quedar claramente definidas las condiciones relevantes del ambiente que se medirán; presión, humedad relativa, temperatura, etc.

4.3.5 Criterios de aceptación

Se detallan previamente con la finalidad de poder cuantificar los resultados de los ensayos. De obtener algún resultado que no los cumpliera, el proceso de calificación se detendría para evaluar los mismos y estudiar posibles acciones correctivas. Esto, por supuesto, sería documentado antes de implementar las acciones pertinentes y retomar entonces el proceso.

4.3.6 Secuencia de ensayos

Una vez definidas las características operacionales y ambientales del equipo podrán definirse los ensayos que requiere el equipo para ser calificado correctamente. A pesar de que la secuencia puede cambiar atendiendo al ambiente y los requisitos operacionales del equipo, así como a la normativa aplicada, siempre es recomendable que esta vaya de ensayos menos destructivos a más destructivos. La secuencia más general sería de la forma:

- Inspección visual: Aparentemente una fase sencilla, pero a la vez muy necesaria para evaluar cambios en las muestras de ensayo. Deben ser detectadas las alteraciones que pudieran ocurrir por fabricación, manejo, transporte...etc. Además de la inspección visual inicial, se repetirán estas comprobaciones al inicio y final de los ensayos para seguir de cerca el estado de la muestra
- Ensayos funcionales en ambiente normal: Se hace funcionar el equipo en las condiciones de ambiente normal con el fin de observar posteriormente los resultados de operar en un ambiente no normal.
- Ensayos funcionales en ambiente no normal: También entendido como ambiente degradado. Este ambiente lo proporciona la CCNN. No serán necesarios en el caso de que se realicen ensayos de accidente que cubran esas condiciones.
- Ensayos de envejecimiento: Se obtiene en un tiempo limitado el equipo en el estado en el que se encontrará instalado en planta hasta el final de su vida calificada y previo a los sucesos base de diseño. Para realizar este envejecimiento acelerado, se tendrán en cuenta los parámetros del ambiente, ciclos de funcionamiento, temperatura y vibraciones internas...etc. Se tendrá especial atención con los materiales orgánicos o no metálicos a la hora de los envejecimientos.

Dentro de los ensayos de envejecimiento encontramos varios tipos:

Envejecimientos térmicos: Se simula el efecto de la temperatura que soporta el equipo durante todo su ciclo de vida, pero en un menor tiempo. Para ello se suele usar el método de Arrhenius recomendado por la IEEE, donde no se recomiendan envejecimientos inferiores a 100 horas.

Puesto que contamos con una calificación real en este proyecto, no nos extenderemos ahora en los envejecimientos térmicos, ya que este se aborda con detalle en la fase 4 de la calificación.

Envejecimientos por irradiación: En este ensayo se simula el desgaste que sufren los materiales cuya radiación recibida en su vida en servicio sobrepasa el umbral de radiación. Estos umbrales de radiación se encuentran en los anexos X. Está demostrado que los efectos de degradación más graves que sufren los materiales orgánicos dependen de la dosis de radiación absorbida.

Para ejecutar este ensayo se tendrá en cuenta la dosis de radiación recibida por el equipo a lo largo de toda su vida, tanto en vida normal como en accidente. Igualmente se considerarán únicamente la radiación gamma y la radiación beta recibida por el equipo salvo que se pueda demostrar que debido a algún blindaje del mismo no afecta la radiación beta.

Las dosis más frecuentes suelen variar entre 5 y 10 kGy/hora y en ocasiones se realizarán de manera separada los envejecimientos por radiación normal y por radiación en accidente, cambiando así el ritmo de la dosis en uno y en otro. La elección del proceso irá en función de elegir siempre el procedimiento más desfavorable de los dos mencionados.

Envejecimientos operacionales: Del mismo modo que el equipo se degrada por temperatura y radiación, también lo hace por mecanismos que aparecen en su funcionamiento, como, por ejemplo, arranques, paradas, cambios de estado y demás movimientos operacionales. Igualmente, en su simulación se acelerará la sucesión de ciclos en cuestión salvo que el fabricante haya realizado ya dicho ensayo y esto pueda demostrarse; caso para el cual el estudio de envejecimiento operacional no será realizado nuevamente puesto que se supondrá una vida infinita del equipo a lo largo de su vida calificada.

Envejecimientos vibratorios: Los equipos que estén sometidos a vibraciones provocadas por su funcionamiento o por el de equipos anexos serán sometidos a ensayos de simulación de dichas vibraciones, donde deberá definirse el rango de frecuencias y la magnitud de éstas.

- Ensayos sísmicos: Son los ensayos que se realizarán en aquellos equipos que pudieran verse sometidos a fuerzas sísmicas durante sus operaciones en planta.

Para ello, el equipo será sometido en una mesa vibratoria a 5 simulaciones de un terremoto de diseño base (OBE) y a 1 de terremoto de parada segura (SSE). Más adelante veremos cómo define estos dos ensayos la normativa RCC-E.

- Ensayos de Simulación de accidente o DBE: Son los ensayos que ponen a prueba al equipo para los posibles accidentes que este pudiese sufrir en servicio. Típicamente, estos ensayos son el LOCA o pérdida de refrigerante, MSLB o rotura de una línea principal de vapor y HELB o rotura de línea de alta energía.

Para la simulación del accidente, es preciso reproducir ciertas condiciones termodinámicas, así como de radiación. En todo el mundo existen muy pocas instalaciones capaces de simular dichas condiciones a la vez. Debido a esta limitación, se realizan de manera separada.

Dentro de estas simulaciones se aísla la irradiación en un solo ensayo y las condiciones termodinámicas en otro. El ensayo de accidente con simulación de condiciones termodinámicas cuenta típicamente con dos fases: Accidente y post-accidente. Para el primero hemos de reproducir el pico de vapor y temperatura al que se ven sometidos los equipos en planta cuando hay un accidente, pudiendo variar sensiblemente las condiciones de un equipo a otro según su posicionado en planta, así como el tiempo de dicha fase, que puede ir de minutos a horas. Para la segunda parte el equipo sufrirá condiciones de ambiente degradado que desciende progresivamente, pudiendo ir este desde los 30 días a un año desde su aparición a su desaparición. Por ello, esta segunda fase podrá verse acelerada a través de la modelización de Arrhenius.

Es muy importante el comprobar de manera continua la operatividad del equipo durante estos ensayos de cara a declararlos aptos para su servicio en planta.

La secuencia que se acaba de definir podría variar si se demuestra y se documenta que esto no afecta a la vida calificable. Igualmente, para un mismo equipo podría haber distintas secuencias para distintas partes del mismo, lo que debería estar debidamente especificado en el procedimiento de la calificación.

4.3.7 Calidad del proceso

El proceso de calificación nuclear exige unas medidas de seguridad que deben ser garantizadas. Por ello se realiza un exhaustivo seguimiento del mismo. Por

norma general, este seguimiento se realiza a nivel corporativo a través del departamento de control de calidad y debe contar con:

- Programa de calidad: Es la documentación que refleja cómo han de medirse los estándares de calidad que conciernen al proceso de calificación. De esta forma se deja constancia de que se respetan las condiciones de seguridad para la realización de ensayos siguiendo la normativa y los estándares específicos que pudiese marcar el cliente.

Este programa de calidad debe incluir un programa de puntos de inspección (PPI) que define concretamente los puntos clave que se evaluarán para garantizar la calidad del proceso.

- Formación: Debe quedar constancia de las personas que diseñan los ensayos, así como de las personas encargadas de ejecutarlos. Estas personas deben contar con la formación y la experiencia necesaria para dicho cometido (Ingenieros, técnicos... etc.).
- Acciones correctivas: Se planearán acciones que subsanen en la medida de lo posible errores que pudieran aparecer en el proceso de la calificación. Se documentarán y estudiarán antes de reanudar el proceso de calificación en el caso de que hubiera que usarlas.
- Historial del proceso: Deben registrarse de manera cronológica los eventos del proceso de calificación. Quedarán así reflejados, además de los ensayos y sus respectivos comentarios, los movimientos del equipo durante el proceso de calificación
- Trazabilidad: El proceso deberá contar con una trazabilidad que permita seguir todo el recorrido en materia de resultados de ensayos, transportes del equipo, personal...etc. de tal modo que sean comprobables las interconexiones entre una etapa y la siguiente.

4.4 Calificaciones según la normativa RCC-E

Vamos a analizar las modalidades de calificación nuclear según la normativa francesa RCC-E comparándolas finalmente entre ellas. Antes de nada, hemos de tener en cuenta que según la calificación es más cercana al K1 será más restrictiva y menos aproximándose al tipo K3. Por ello, vamos a mostrar las diferencias y similitudes que tienen dichos procesos de calificación. Con el fin de terminar la explicación de todos los métodos de calificación con una comparativa final, iremos numerando los bloques de ensayos que se van a explicar con una única secuencia a lo largo de los cuatro métodos de calificación siguientes.

4.4.1 Calificación en condiciones de ambiente normal

El objetivo de la calificación en condiciones de ambiente normal es asegurar el funcionamiento de un equipo en condiciones normales de ambiente. Este tipo de calificación puede llevarse a cabo a través de un programa de calificación por experiencia operativa, por ensayo o una combinación de ambas modalidades.

En el caso de que el proceso de calificación cuente con, al menos, una parte de calificación por experiencia operativa, se deberá mostrar la analogía entre el material analizado por su experiencia operativa y el equipo que se está calificando, así como justificar la similitud de las condiciones de ambiente y las funciones del equipo.

La campaña de ensayos para este tipo de calificación cuenta con tres modalidades diferenciadas de ensayos:

- 1. Ensayos de referencia: Son los ensayos que prueban las características eléctricas básicas del equipo (ensayo de resistencia de aislamiento, rigidez dieléctrica, resistencia del circuito...) y las características funcionales específicas del equipo que aseguran la función de seguridad del mismo (por ejemplo, para nuestro equipo del cual veremos su calificación completa más adelante, comprobaríamos sus funcionalidades electromagnéticas con los Ensayos de Campo Electromagnético, CEM).

Estos ensayos, o al menos los más representativos de estos como son los de tipo eléctrico, se repiten al final del resto de bloques de ensayos, con el fin de detectar errores o deterioros de funcionamiento que puedan haber surgido a causa de las pruebas realizadas en el equipo.

Los ensayos se realizarán en condiciones atmosféricas normales indicando claramente el valor nominal de las magnitudes de influencia.

- 2. Ensayos de límites funcionales: Son los ensayos que prueban el correcto funcionamiento del equipo probándolo en sus límites funcionales de sus magnitudes de influencia y por debajo de estos. Es muy importante su elección ya que marcará el tipo de calificación a realizar (K1, K2...)

Sus magnitudes de influencia son las definidas según el entorno en el que actúan, a saber:

- Condiciones de ambiente nuclear y sísmico: Se considerará el ambiente de trabajo en el que trabaja el equipo como ya explicamos en líneas generales en el apartado 2b). Además, la RCC-E realiza una valoración más exhaustiva de

los ambientes de trabajo, dividiéndolos en 4 categorías: Equipos no explotados (almacenados), equipos fuera de la contención, equipos en la contención y equipos en ambiente sísmico. Los equipos fuera o dentro del recinto además serán evaluados en caso de no accidente, en ambiente degradado o en accidente.

Además, cabe destacar que para los casos en los que evaluemos el equipo en planta, en el caso de actuación fuera o dentro de recinto en caso de ambiente degradado, teniendo en cuenta sus condiciones ambientales (de irradiación y de temperatura/presión) y su vida útil calificable (corto, medio o largo plazo) los equipos se clasificarán en familias siguiendo las tablas 4.4-1 y 4.4-2:

Para los equipos fuera del recinto de contención:

Condiciones de Temperatura/Humedad	Dosis de irradiación recibida	Corta duración	Media duración	Larga duración
Normal	Normal	A		
Anormal	Normal	B	C	
Normal	Anormal	D	E	F

Tabla 4.4-1 – Familias de equipos fuera de la contención

Para los equipos en el recinto de contención:

Condiciones de Temperatura/Humedad	Dosis de irradiación recibida	Corta duración	Media duración	Larga duración
Normal	Normal	1		
Anormal	Normal	2	3	4
Anormal	Anormal		5	6

Tabla 4.4-2 – Familias de equipos en la contención

Siguiendo esta clasificación, el equipo electromagnético que vamos a calificar en este proyecto, pertenece a la **familia 4**, por ser una calificación a 20 años (larga duración) con una posible recalificación a 20 años más y por sufrir una dosis de **radiación normal** para su posición en el edificio de confinamiento.

- Condiciones de ambiente electromagnético: Es al ambiente que consta de perturbaciones electromagnéticas que podrían afectar al funcionamiento del equipo. Las perturbaciones pueden surgir desde otro equipo, por el propio equipo, por la instalación del equipo y por cableados propios y ajenos al equipo.

Estos niveles de perturbaciones electromagnéticas han de ser soportables por el equipo para que este se pueda calificar correctamente.

Como dijimos al comienzo de estos ensayos, su determinación establecerá el tipo de calificación de manera que, como veremos en los apartados sucesivos, a medida que la calificación requiere mayor seguridad se irán añadiendo ensayos. En el caso particular de nuestra calificación, al tratarse de un equipo electromagnético en la contención, se le aplicarán ensayos para condiciones de ambiente en el recinto, en condiciones sísmicas y en entorno electromagnético en el plano de los funcionales, lo que nos llevará a una calificación de tipo K1.

Para ilustrar el proceso de elección de ensayos funcionales se ha confeccionado la siguiente figura:

condiciones de ambiente y sísmicas	Equipos no explotados (almacenados)	
	Equipos fuera de la contención	sin accidente
		en ambiente degradado
		en accidente
	Equipos en la contención	sin accidente
		en ambiente degradado
		en accidente
	Equipos en ambiente sísmico	
Condiciones de ambiente electromagnético		

Tabla 4.4-3 – Clasificación de equipos según condiciones ambientales

- 3. Ensayos de comportamiento en el tiempo: Son los ensayos que verifican la robustez del equipo y/o conseguir una apreciación del comportamiento en el tiempo del mismo.

Los mecanismos que llevan a un envejecimiento del equipo en servicio son numerosos y estos dependen fundamentalmente del ambiente (temperatura, humedad, irradiación, vibraciones externas...) y del funcionamiento del equipo (ciclos de accionamiento, vibraciones internas...).

Los ensayos que se realicen en esta parcela deben ser representativos y, si es posible, mostrar los mecanismos y sus efectos más importantes. Además, estos ensayos deben poder ser simulados en un laboratorio a través de una metodología reproducible que permita acelerar los mecanismos de envejecimiento para realizar conseguir una duración asequible de la calificación. Es importante destacar que estos ensayos no van destinados a determinar de manera experimental el ciclo de vida útil del equipo en servicio, pero sí a formular una hipótesis del mismo. Se buscará siempre que esta hipótesis del ciclo de vida se ajuste a la duración del ciclo de vida de la propia central nuclear. Si el equipo no pudiera soportar esa misma duración en servicio, la hipótesis de su ciclo de vida podrá verse reducida. Por ello, los ensayos irán directamente ligados a la hipótesis del tiempo en servicio del equipo y/o ensayos “convencionales”, los cuales no guardan relación con el ciclo de vida hipotético.

Todos estos ensayos de naturaleza térmica (envejecimientos térmicos), mecánica (vibraciones sinusoidales), climática a efectos mecánicos (rápido ascenso de temperatura, calor húmedo, niebla salina...) o de funcionamiento prolongado se confeccionan a partir de otras normativas como la CEI 60068-2-59, la cual no contemplamos en este proyecto.

Para los materiales en el recinto de confinamiento de la central, es decir, aquellos con calificación tipo K2 y K1, tendremos un ensayo de envejecimiento por irradiación definido, el cual también puede aplicarse a casos excepcionales de equipos que vayan a sufrir una alta irradiación aun encontrándose fuera del recinto de contención. Este ensayo lo abordaremos en sus respectivos tipos de calificación.

Además, al incluirse por regla general un ensayo de funcionamiento prolongado, este se efectuará a la temperatura máxima del dominio nominal de esta magnitud.

Estos ensayos pueden estar integrados con el bloque de ensayos funcionales si el programa particular de calificación así lo indica, cosa que no ocurre para la calificación real que abordaremos más adelante.

4.4.2 Calificación de tipo K3

El objetivo de la calificación K3 es asegurar el funcionamiento de un equipo fuera de la contención de una central nuclear en condiciones normales de ambiente, bajo sismo e incluso en condiciones de ambiente degradado (tipo K3 ad). Este procedimiento

es aplicable cuando los requisitos del equipo tienen que ver con su operatividad o su funcionamiento durante un sismo.

La campaña de ensayos cuenta con los mismos ensayos que se siguen para la calificación en ambiente normal (referencia, límites funcionales y comportamiento en el tiempo) teniendo cuenta las particularidades de estos para casos fuera de la contención como norma general. Además, se realiza un ensayo de resistencia al sismo.

Este ensayo de resistencia al sismo se define de la siguiente manera:

- **4. Resistencia al sismo:** Partiendo de la base de que los terremotos o sismos son aceleraciones aleatorias que se producen en los ejes cartesianos, la salida que nos proporciona un acelerómetro que mida un sismo podremos modelizarla como N sistemas de 1 solo GDL. Haciendo vibrar estos N sistemas dentro de un rango de frecuencias, obtendremos para una determinada frecuencia su aceleración máxima. Con los N puntos que conseguimos obtendremos el Espectro de Respuesta Específico (Spectres de Réponse Spécifiés, SRS).

Estas condiciones podemos conseguirlas en un laboratorio haciendo vibrar el equipo sobre una mesa vibrante que simula en la base donde se apoya dicho equipo los efectos definidos por el ya mencionado SRS.

La finalidad de este ensayo es la de verificar la aptitud de un equipo para asegurar su funcionamiento bajo condiciones de un sismo nivel S2 y de un sismo de nivel S1 correspondientes, respectivamente, a un Sismo De Dimensionamiento (SDD) y a un medio sismo de dimensionamiento (Demi-Séisme de Dimensionnement, DSD). Estos perfiles de sismo vienen modelizados por estudios recogidos a lo largo de los años por diversos terremotos sucedidos en distintas CCNN y muestran los sismos más agresivos que podrían sufrir los equipo, incluso, incrementados con un factor de seguridad.

A continuación, vemos en la figura 4.4-1 el perfil sísmico SRS que propone la RCC-E:

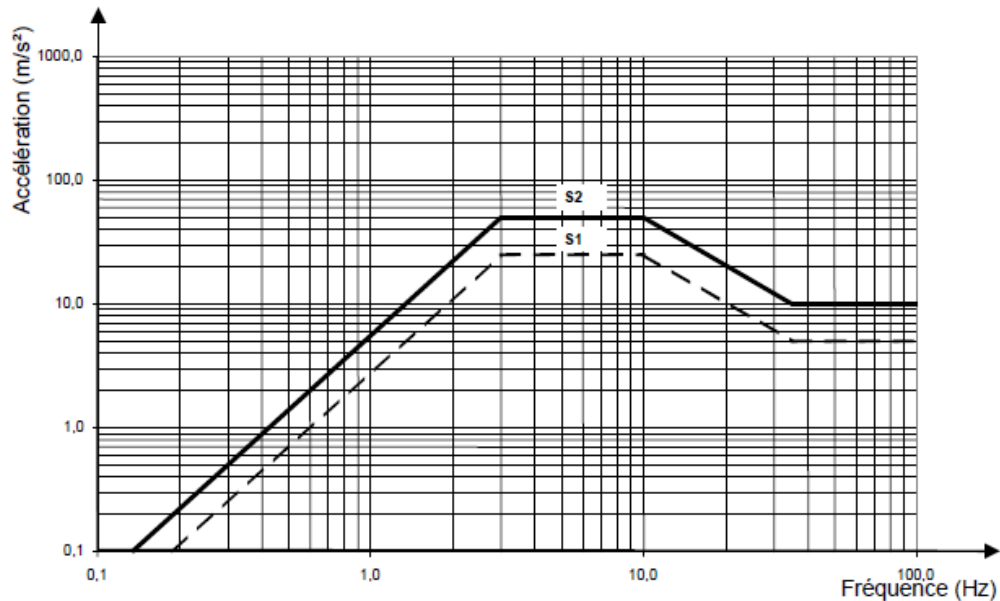


Figura 4.4-1 – SRS según RCC-E

Este ensayo viene precedido de un ensayo de búsqueda de resonancias críticas a través de un ensayo en una mesa biaxial o triaxial con acelerómetros independientes o bien por un método de análisis por simulación. Esta metodología de ensayo puede ser reemplazada también por una metodología de análisis o combinada. Con esto conseguimos ver cuáles serían las frecuencias críticas a las que el equipo vibraría de en un posible terremoto.

Para el cálculo de las frecuencias de resonancia se realizarán con acelerómetros en diversas partes del equipo y un acelerómetro en la mesa vibrante. Dividiendo la aceleración del acelerómetro de la mesa entre la de un acelerómetro del equipo comprobamos la relación entre ambas de cara a considerarla o no. Estas frecuencias naturales de resonancia nos servirán para la aplicación de los sismos que se detallan a continuación.

Por otro lado, una vez encontradas las frecuencias naturales de resonancia de los equipos, se someterá el equipo a 5 ciclos SDD y 1 ciclo DSD para cada eje cartesiano, comprobando si efectivamente el espectro de salida de la mesa es superior a estos, quedando demostrado así que el equipo ha sido sometido a un sismo. Esta respuesta sísmica se conoce como SRE (Spectres de Réponse d'Essai) y el equipo cumplirá los requisitos del siempre que esta sea superior al perfil SRS (Spectres de Réponse Spécifiés, SRS). Si el SRE fuera inferior, habría que repetir el ensayo recalculando los parámetros que fueran necesarios. En caso de que se registre una caída del perfil SER por debajo del SRS ensayado, se comprobará si esta caída corresponde a una frecuencia natural de resonancia. En caso de serlo, se comprobará que la caída no sea mayor al 10% del tiempo total. Si también

fuese así, el equipo no estaría acondicionado para el sismo; el ensayo debería repetirse tras reforzar el equipo de cara a hacerlo apto al sismo

A continuación, vemos en la figura 4.4-2 el perfil sísmico SRE comparado con el SRS que propone la RCC-E:

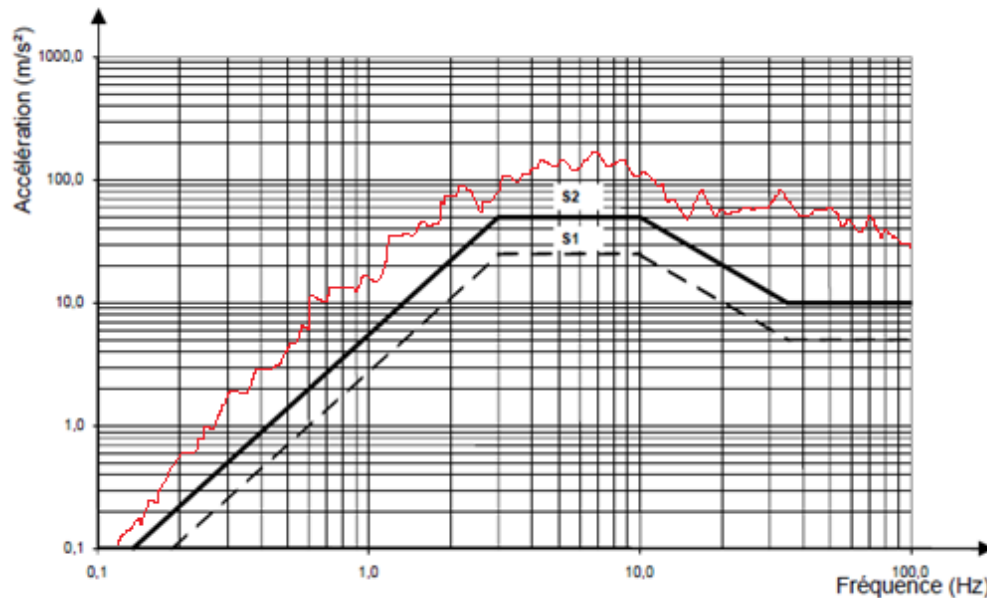


Figura 4.4-2 – SRS según RCC-E más la respuesta SRE de ensayo

Los métodos de ensayo para la resistencia al sismo son:

Ensayos mono-axiales por excitación sinusoidales: Para este caso simplificado, se aplicarán cinco senos para cada frecuencia prevista en el ensayo. Estas frecuencias y la amplitud de las mismas se reflejan en la normativa CEI 60068-6-2, según la clasificación de los equipos, por posición, funcionamiento, etc. El ensayo se repite 3 veces; una para cada dirección de los ejes cartesianos.

Ensayos mono-axiales por acelerómetros: Para transformar los perfiles de sismo SDD y DSD (aceleración-frecuencia) se realiza por métodos numéricos de transformada de Fourier una modelización equivalente con un acelerograma (aceleración-tiempo). Este acelerograma es el que la mesa vibrante aplicará, consiguiendo mediante una excitación de aceleraciones aleatorias el mismo efecto de los terremotos. Los acelerómetros que se han posicionado a lo largo de la superficie del equipo nos dan la respuesta de aceleraciones que este sufre frente al sismo, las cuales vuelven a transformarse mediante Fourier para conseguir el espectro sísmico que se comparará con los de SDD y DSD. El ensayo se repite 3 veces; una para cada dirección de los ejes cartesianos.

Ensayos biaxiales por acelerómetros independientes: Se realiza el mismo ensayo que para el ensayo monoaxial cambiando la mesa por una de tipo biaxial y utilizando unos acelerómetros que registran en una dirección y otros acelerómetros en la otra. Una vez realizados todos los ciclos para las dos primeras direcciones, se rota el equipo 90° y se realiza lo mismo en la dirección restante.

Ensayos triaxiales por acelerómetros independientes: Se realiza el mismo ensayo que para el ensayo monoaxial cambiando la mesa por una de tipo triaxial y utilizando acelerómetros que registran en cada dirección. Al realizar las tres direcciones una única vez, no es necesario repetir el ensayo.

Para los registros de los acelerómetros en la misma dirección, se presentan todas las respuestas recibidas para luego realizar la trasformada de Fourier para obtener el espectro sísmico.

Normalmente, estos métodos se eligen en función de la disponibilidad de mesas vibrantes, presupuesto del cliente, etc. A falta de una metodología especificada por el programa particular de calidad, el método del ensayo biaxial tendrá prioridad.

Además, cabe destacar que estos ensayos pueden utilizar una nueva muestra que la utilizada para el resto de ensayos de envejecimiento siempre que estén debidamente justificadas las razones por las que estos envejecimientos no tienen impacto sobre la resistencia a sismo del equipo.

Resumimos el proceso a continuación en la figura 4.4-3.

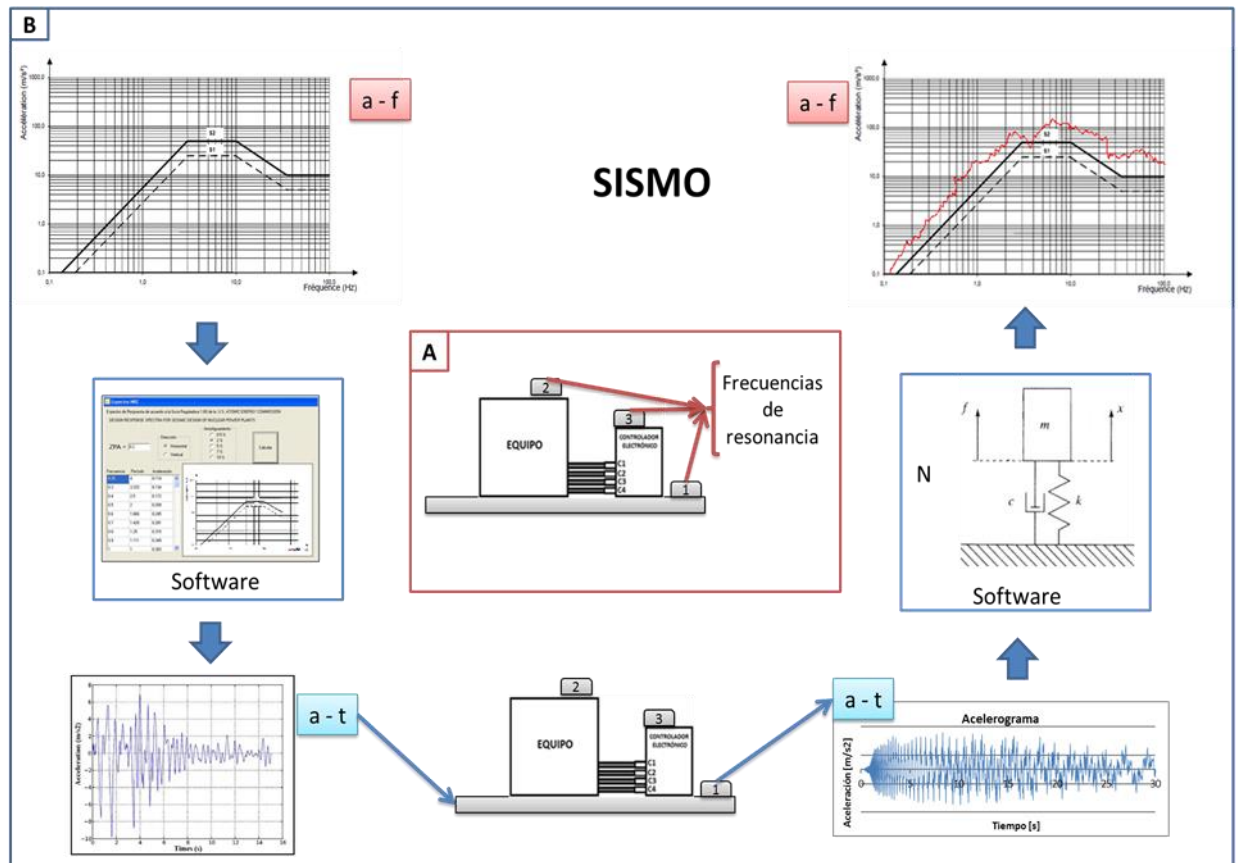


Figura 4.4-3 – Modelización del SRS y obtención del SRE

4.4.3 Calificación de tipo K2

El objetivo de la calificación K2 es asegurar el funcionamiento de un equipo en la contención de una central nuclear en condiciones normales de ambiente y bajo sismo. Este modelo de calificación será aplicable a los equipos clasificados en la figura X como familia 1.

La campaña de ensayos cuenta con los mismos ensayos que se siguen para la calificación de tipo K3 (referencia, límites funcionales y comportamiento en el tiempo y resistencia al sismo) teniendo cuenta las particularidades de estos para casos en la contención como norma general. Además, se realizará un ensayo de irradiación acumulada en condiciones normales de funcionamiento (o lo que es lo mismo, en condiciones fuera de accidente)

Este ensayo de irradiación acumulada se define de la siguiente manera:

- **5. Irradiación acumulada:** Este ensayo intenta conocer el comportamiento de los equipos en ambientes radioactivos. Para ello se fijarán caudal de dosis, dosis total recibida y, por consiguiente, duración total del ensayo.

El equipo será sometido a una exposición radioactiva donde se controlará el caudal de radiación, pudiendo ir éste de 0,1 kGy/h a 0,2 kGy/h; por defecto 1kGy/h. En función de un programa particular de calificación, el cual valorará la cantidad de cobalto en el equipo, así como su proximidad a la fuente. Este valor podrá verse modificado desde un 50% a un 150%, puesto que se asume que la radiación en el recinto de ensayo no es homogénea.

Igualmente, la dosis total, que será calculada en función del equipo a calificar, no podrá estar fuera de un $\pm 15\%$ de dicha cifra. La duración del ensayo deberá ser de al menos 250 horas.

En cuanto al posicionado en la cámara de ensayo, ha de respetarse la posición de instalación del equipo en servicio respecto a su eje vertical. Igualmente, las placas metálicas que pudiera presentar el equipo, al no ser susceptibles a sufrir un envejecimiento radioactivo, serán quitadas para el ensayo. Las condiciones de la cámara serán de 70 ± 3 °C, así como una presión no superior a 100 kPa.

Además, antes del propio ensayo de radiación, el equipo deberá encontrarse en la cámara de ensayo 24 en condiciones de preconditionamiento.

El ensayo ha de incluirse en el bloque de ensayos de comportamiento en el tiempo.

4.4.4 Calificación de tipo K1

El objetivo de la calificación K1 es asegurar el funcionamiento de un equipo en la contención de una central nuclear en condiciones normales de ambiente, bajo sismo y, además, bajo condiciones de accidente. Este modelo de calificación será aplicable a los equipos clasificados en la figura X entre las familias 2 a 6.

La campaña de ensayos cuenta con los mismos ensayos que se siguen para la calificación de tipo K2 (referencia, límites funcionales y comportamiento en el tiempo y resistencia al sismo) teniendo cuenta las particularidades de estos para casos en la contención como norma general. Además, se realizará un ensayo de irradiación acumulada en condiciones normales de accidente y un ensayo de accidente L.O.C.A.

El accidente L.O.C.A se abordará en profundidad en el epígrafe 5 mientras para la calificación veremos, a continuación, su simulación.

Estos ensayos de irradiación en accidente y de accidente L.O.C.A. se definen de la siguiente manera:

- 6. Irradiación en accidente: Con este ensayo simula la radiación que recibirá el equipo en caso de sufrir la radiación proveniente de un posible accidente en sus inmediaciones. Se calculará la dosis

El equipo será sometido a una exposición radioactiva donde se controlará el caudal de radiación, pudiendo ir éste de 0,1 kGy/h a 10 kGy/h; por defecto 1kGy/h. En función de un programa particular de calificación, el cual valorará la cantidad de cobalto en el equipo, así como su proximidad al foco del accidente. Este valor podrá verse modificado desde un 50% a un 150%, puesto que se asume que la radiación en el recinto de ensayo no es homogénea.

Igualmente, la dosis total, que será calculada en función del equipo a calificar, no podrá estar fuera de un $\pm 15\%$ de dicha cifra. La duración del ensayo deberá ser de al menos 250 horas.

En cuanto al posicionado en la cámara de ensayo, ha de respetarse la posición de instalación del equipo en servicio respecto a su eje vertical. Igualmente, las placas metálicas que pudiera presentar el equipo, al no ser susceptibles a sufrir un envejecimiento radioactivo, serán quitadas para el ensayo. Las condiciones de la cámara serán de 70 ± 3 °C, así como una presión no superior a 100 kPa.

Además, antes del propio ensayo de radiación, el equipo deberá encontrarse en la cámara de ensayo 24 en condiciones de preconditionamiento.

- 7. Accidente L.O.C.A.: El ensayo consiste en someter a la muestra del equipo a condiciones de temperatura y presión concretas, seguido este escenario de una aspersión de agua borada, si fuese necesaria. Este sistema de aspersión simula el sistema de defensa de agua borada que podría recibir el equipo al perderse refrigerante del circuito primario en la contención (subida de temperatura y de radiación que conseguiríamos neutralizar con el boro).

- Todo esto se simula en una cámara de ensayo a la que habrá que aplicarle un perfil de dos transitorios (temperaturas / presión), más comúnmente conocidos como, choques o picos de temperatura más una fase de post ensayo, el cual viene definido en la RCC-E. Al contrario que otras normativas que realizan un único pico con margen superior de seguridad tanto para temperatura como para presión, la RCC-E realiza dos picos sin margen entrando la aspersión en el segundo pico, método que la propia normativa acepta como válido.

A continuación, se muestra el perfil en la figura 4.4-4:

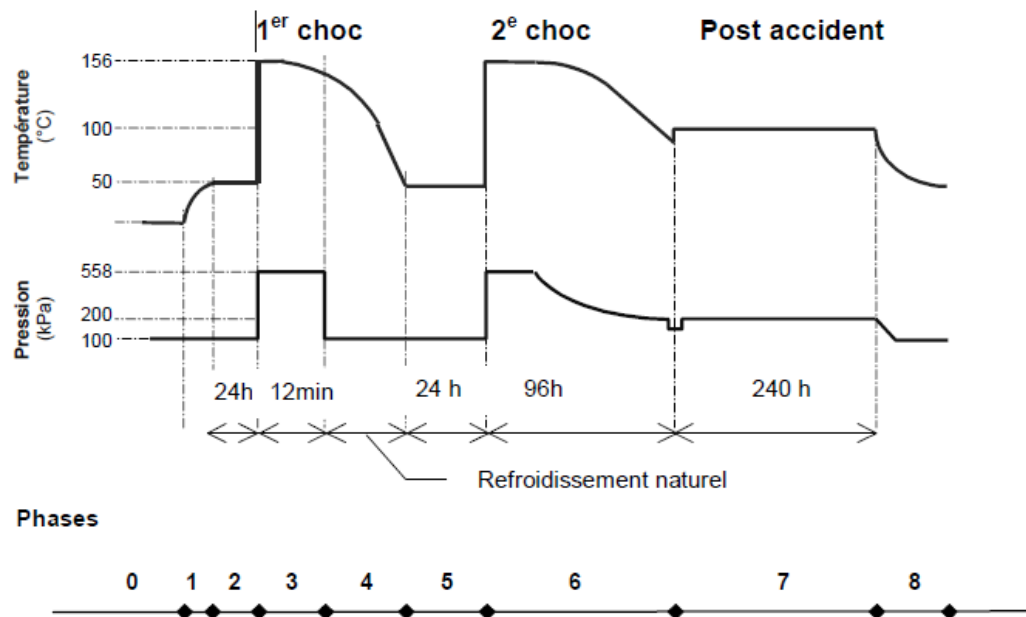


Figura 4.4-4 – Perfil de accidente tipo LOCA según la RCC-E

Este perfil genérico, podrá variar ligeramente de cara a simular más concretamente las condiciones de servicio que soporte el equipo en planta, pero siempre ha de mantener las nueve fases que define la normativa. A saber:

Fase 0: Esta primera fase comienza con un pre-acondicionamiento de la muestra en condiciones normales durante 24 horas en el recinto de la cámara de ensayo. Esta fase también incluye aquí el anclaje de la muestra a la cámara, así como el cerrado de la misma.

Fases 1: Consiste en un acondicionamiento de la muestra debido a una moderada subida de temperatura desde la temperatura normal a 50 ± 10 °C. No se especifican tiempos de duración.

Fase 2: Se mantiene la muestra a la temperatura de la fase 1 durante un periodo superior o igual a 24 horas.

Fase 3: Se procede a aplicar el primer pico de temperatura y presión. Se debe alcanzar una temperatura de 156 °C (≥ 78 °C/min) y una presión de 558 kPa (5,5 atm) en 30 segundos como máximo. En el momento que se consiguen estas condiciones, comienza propiamente la fase 3, con una duración de 12 minutos. En esta fase podemos encontrar una caída de temperatura.

Fase 4: Se abre la cámara para realizar un enfriamiento natural hasta que la temperatura a los niveles de la fase 1. No se especifican tiempos de duración.

Fase 5: Se mantiene la muestra a la temperatura de la fase 4 durante un periodo superior o igual a 24 horas.

Fase 6: Se procede a aplicar el segundo pico de temperatura y presión. Se debe alcanzar una temperatura de 156 °C (≥ 78 °C/min) y una presión de 558 kPa (5,5 atm) en 30 segundos como máximo. En el momento que se consiguen estas condiciones, comienza propiamente la fase 6, con una duración de 96 horas donde se incluye un enfriamiento forzado, puesto que se intenta controlar en este la bajada de temperatura y presión. La bajada de presión se realizará de manera gradual dando lugar a su vez a la bajada de temperatura. Esta bajada se consigue mediante una superposición del estrangulamiento de caudal de vapor entrante a la cámara (que comienza en el minuto 2) al mismo tiempo que se inyecta aire a presión en la misma. Esta inyección de aire ha de comenzar entre el minuto 2 y 30 de la fase. Al término de las 96 horas, la presión total y la temperatura deberán estar en 200 kPa y 73 fijadas.

Igualmente, en esta fase comienza la aspersión de solución química a los 200 segundos, una vez comenzado el descenso de temperatura. La solución química está basada en agua desmineralizada con un 1,5% porcentaje de ácido bórico, y un 0,6% de sodio y un pH de 9,25 a 20 °C. Se fijará el caudal de la aspersión pulverizado a $1,02 \cdot 10^{-4} m^3/s$, proyectado sobre el plano horizontal donde se encuentra la muestra situada.

Fase 7: Se procede con la fase post-accidente donde se mantendrán las condiciones de presión y temperatura durante 10 días (240 horas) controlando también la humedad relativa.

Fase 8: Se abre la cámara para realizar un enfriamiento natural hasta que la temperatura vuelva a 50 ± 10 °C. No se especifican tiempos de duración.

Durante el ensayo, el equipo ha de ser alimentado y mantenerse en funcionamiento. La medida de la temperatura ha de medirse lo más cerca posible de las partes del equipo que haya definido la normativa para conseguir las condiciones más próximas a las de servicio. Se medirán las características eléctricas del equipo, como rigidez dieléctrica y resistencia al aislamiento eléctrico, a través de cables que accedan a la cámara siguiendo la frecuencia de toma de medidas que exija el programa de calificación particular, si estas existieran (pudiendo haber equipos no eléctricos que no requieran tales medidas).

Para el montaje, el equipo será fijado en posición horizontal sin posibilidad de sufrir desplazamientos.

4.4.5 Tabla de calificaciones

A modo comparativo, se muestra la tabla 4.4 con los ensayos que se realizan según qué tipo de calificación:

Calificación ambiental RCC-E			
En condiciones ambientales normales	Tipo K3 / K3 ad	Tipo K2	Tipo K1
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
	4	4	4
		5	5
			6
			7

Tabla 4.4-4 – Grupos de calificación según la RCC-E

4.5 Introducción al accidente tipo L.O.C.A. (según EPRI)

El accidente LOCA se encuentra englobado en los llamados DBA (Accidente Base de Diseño). Los accidentes son:

LOCA: Pérdida de Refrigerante

MSLB: Rotura de Línea de Vapor

HELB: Rotura de Línea de Alta Energía

En este caso vamos a abordar únicamente el primero.

El accidente LOCA consiste en la pérdida de refrigerante (agua borada) que puede darse en el circuito primario de la contención o incluso en la propia vasija. A diferencia de una fuga, la pérdida de refrigerante o LOCA no puede ser subsanada con el aumento de caudal que producen las bombas de carga del circuito primario. Esto provoca la bajada de la presión del circuito, actuando entonces los sistemas de seguridad pertinentes.

Se distinguen varias categorías de LOCA, según la línea en la que se producen y la duración del mismo. Los más frecuentes son:

SBLOCA: Rotura de diámetro entre 12.5 y 50 mm en una línea

LBLOCA: Rotura de diámetro mayor que 150 mm en una línea

4.5.1 SBLOCA

Esta rotura puede surgir en varios puntos del circuito de refrigeración; en la línea caliente de salida del reactor, en la línea de salida, surge line, barras de control, instrumentación, etc. Puesto que la línea fría es el segundo caudal mayor (tras la línea caliente) y supone el flujo de entrada de refrigerante del RCS, su rotura engendra el SBLOCA más agresivo que podemos encontrarnos y por ello es el que vamos a abordar en este caso.

El SBLOCA se divide en 6 fases:

Fase 1: (0 a 10 s) Se produce la rotura de la línea del primario, dando lugar a una despresurización del RCS hasta alcanzar la presión del circuito secundario. En este momento entra en acción el HPSI que introduce refrigerante y a la vez se vacían los presurizadores para subsanar la bajada de presión. A pesar de que el agua borada se encuentra a 350 °C, ésta permanece en estado líquido en el reactor, pero debido a la rotura con la consiguiente bajada de presión el refrigerante empieza la ebullición en ciertas partes del reactor.

Vemos en la figura 4.7 la posición y actuación de presurizador y acumuladores del HPSI

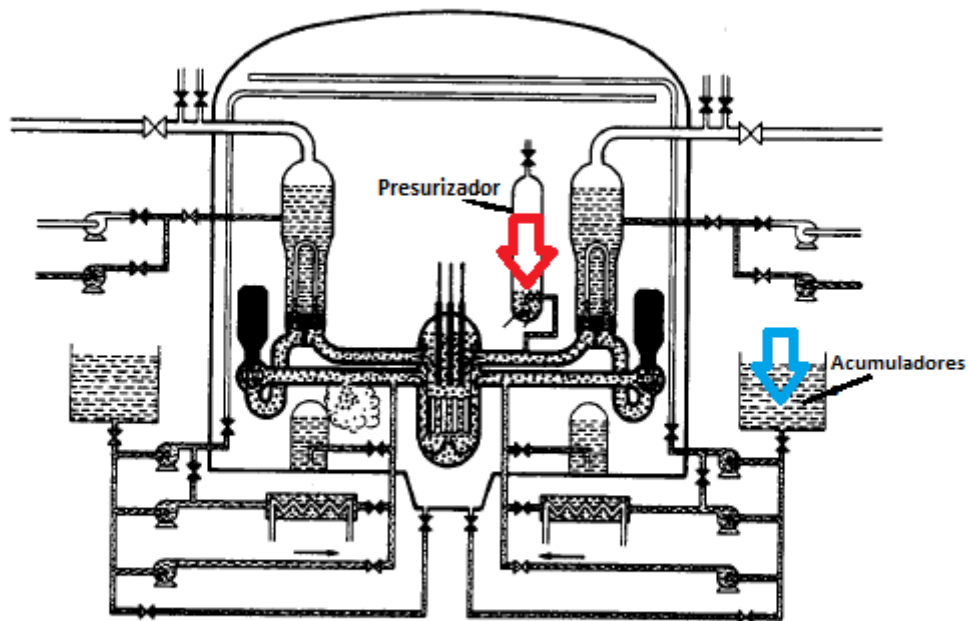


Figura 4.7 – Presurizador y acumuladores en la contención

Fase 2: (10s en adelante) Comienza a refrigerarse el calor a través de los generadores de vapor. De la ebullición de la fase 1, comienza a acumularse vapor en algunas zonas del RCS.

Fase 3: (10 a 220 s) El vapor comienza a formarse en el núcleo y comienza a circular. Este sube por la rama caliente hasta los tubos en U de los generadores de vapor. El calor sigue saliendo a través de ellos y comienza la condensación dentro de los tubos debido a la alta diferencia de temperaturas entre el vapor del primario y el fluido de secundario. Dicho fluido condensado cae circulando a contracorriente hacia el núcleo, produciéndose el llamado reflujo que se representa en la figura 4.8.

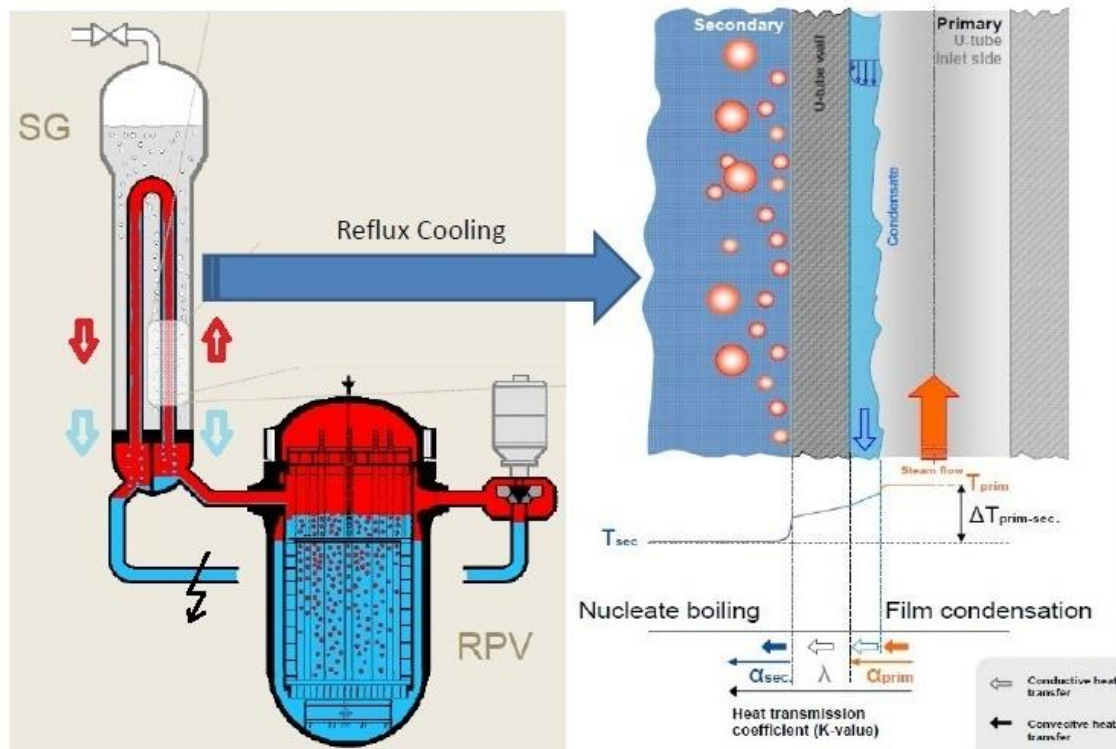


Figura 4.8 – Condensación y reflujo de vapor en el núcleo

Fase 4: (220 a 280 s) Se produce el primer descubrimiento de las barras de combustible del reactor por la pérdida de refrigerante. Comienza a subir la temperatura.

Fase 5: (280 a 310 s) Los tubos en U terminan de recircular. Despresurización y posible descubrimiento de las barras y el consiguiente aumento de temperatura. Con esta subida produce la inyección de refrigerante desde los acumuladores y desde el LPSI, el cual inyecta unos 7500 lpm. Como veremos en la figura 4.9, la presión que se había estabilizado sigue cayendo ya que se pierde refrigerante más rápido de lo que se inyecta.

Si tras 15 minutos la presión continúa alta (> 15 bar) el operador encargado despresurizaría a través de los generadores de vapor

Fase 6: (>310 s) Fase a largo plazo con recirculación a baja o alta presión o activación del RHR, con una reducción de la inyección.

Las fases pueden variar notablemente en función del tamaño de la rotura, la localización de la misma, la disponibilidad de sistemas de inyección y las acciones humanas (activación de bombas, de tanques de recuperación, etc.).

La evolución más típica de presión de un SBLOCA se muestra a continuación en la figura 4.9:

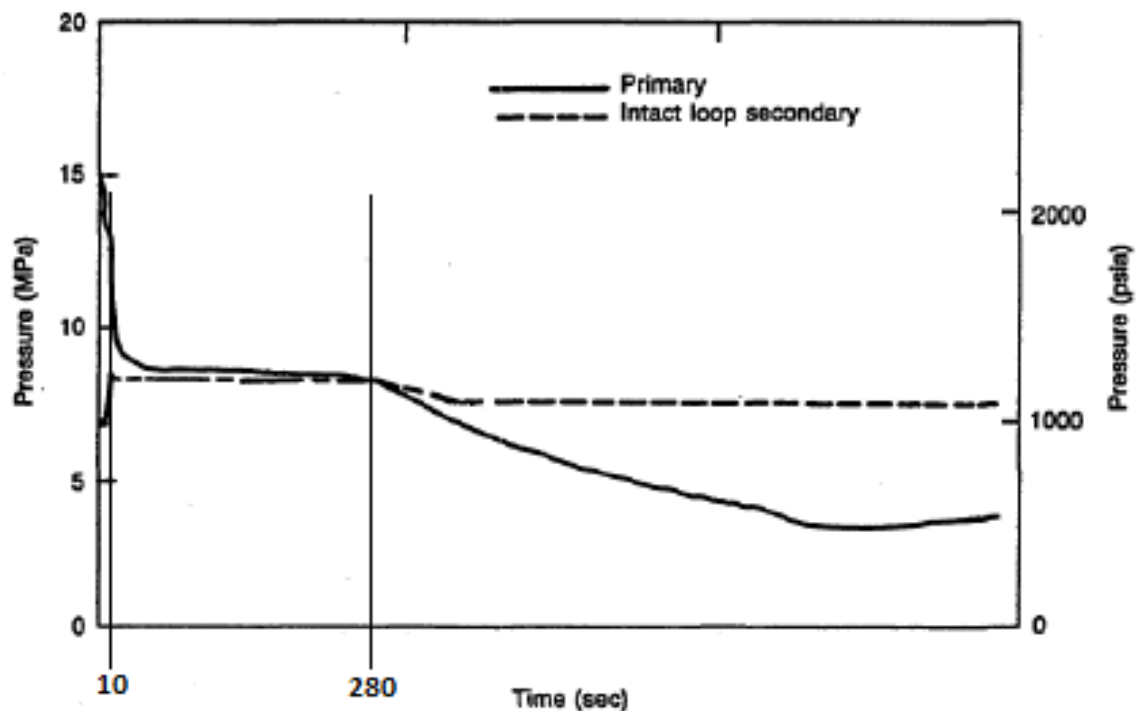


Figura 4.9 – Pico y descenso de presión en SBLOCA

4.5.2 LBLOCA

Similar al SBLOCA, pero, fundamentalmente, se diferencia en la pérdida de refrigerante que se produce de manera más abrupta con su consiguiente pérdida de presión. Las fases están mucho más diferenciadas que en el SBLOCA y son las siguientes:

Fase 1 o Descarga: Se produce una rotura de línea y se activa el sistema de seguridad HPSI y los sistemas ECCS y los acumuladores que actúan en las ramas frías. Esta fase dura 20 segundos aproximadamente llegando a bajar la presión de unos 155 bar a 80. Todo el inventario del primario acaba vertido a la contención.

En la figura 4.10 vemos la brusca pérdida de refrigerante que se sufre en el inicio de la rotura y se va subsanando hasta llegar a los 20 segundos.

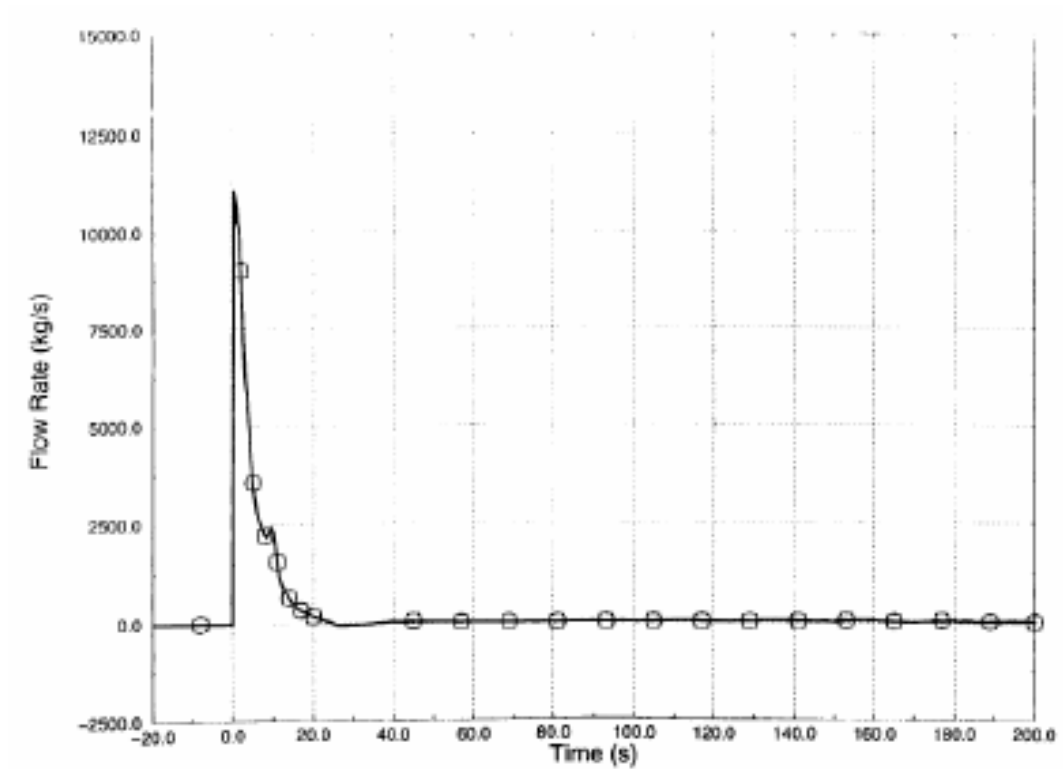


Figura 4.5-1 – Pérdida de refrigerante en el inicio de LBLOCA

Fase 2 o By-Pass: Comienza a salir vapor al exterior de la contención. Aún después de la actuación de los sistemas de seguridad, queda vapor en el generador que sigue saliendo y no permite que el agua inyectada por los acumuladores llegue al núcleo, si no que esta continúa fluyendo por la parte superior del downcomer y fluye por la rotura a la contención.

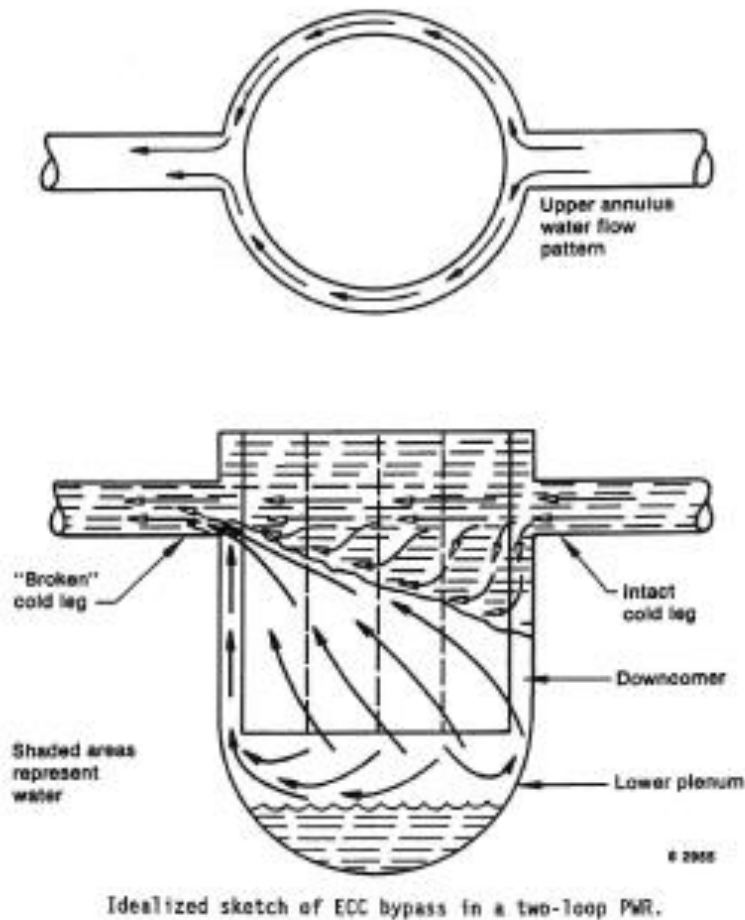


Figura 4.5-2 – Nucleo de la contención en by-pass de LBLOCA

Fase 3 o Rellenado: Disminuye la presión suficientemente para que el caudal de vapor que asciende por el downcomer permita la entrada del agua inyectada. Es entonces cuando actúa el sistema de seguridad LPSI. En unos 10 segundos se consigue inundar los elementos de combustible del reactor. Este fenómeno queda ilustrado en la figura 4.12.

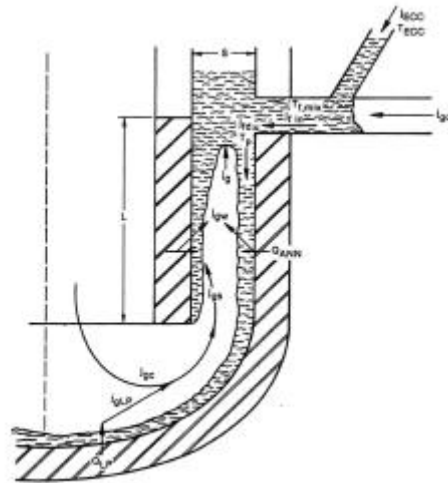


Figura 4.5-3 – Reinundación del núcleo

En la figura 4.13 observamos el nivel de líquido en el reactor durante el accidente. Observamos claramente la pronunciada caída de este, así como el “by-pass” entre el segundo 0 y 20 y el mencionado rellenado o “refill” en los 10 segundos posteriores, donde se consigue reponer inventario en el cuerpo del reactor.

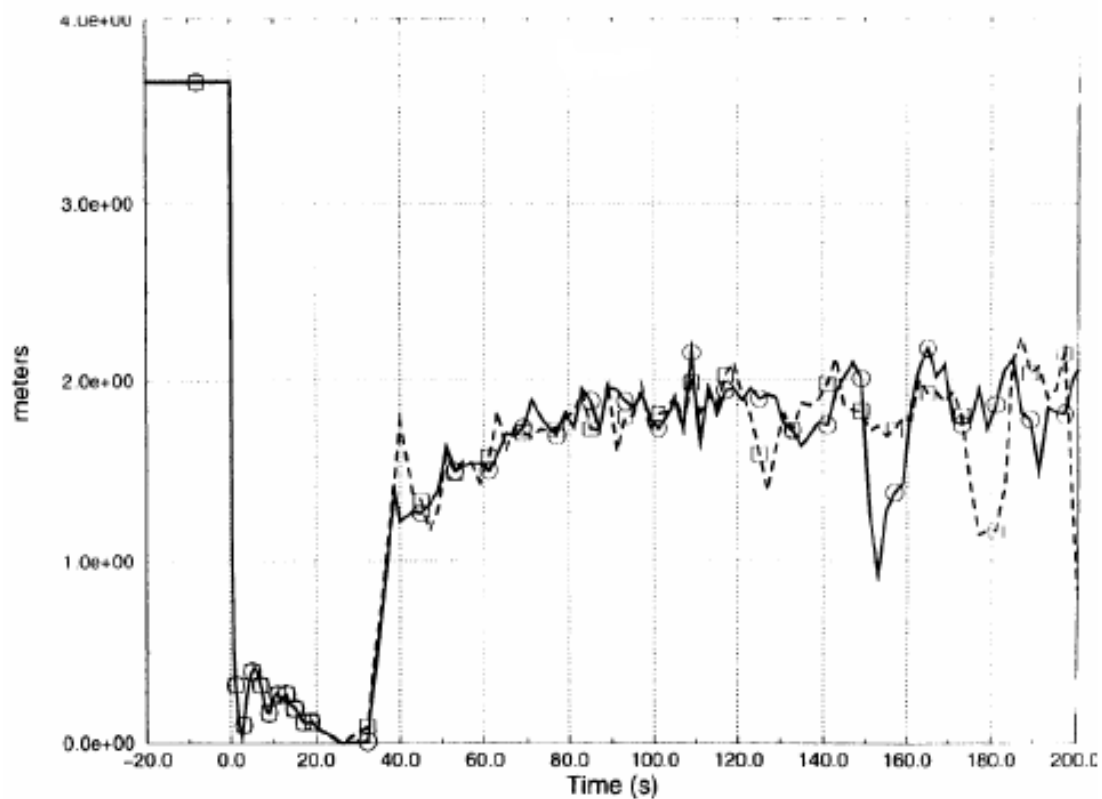


Figura 4.5-4 – Líquido en el reactor durante LBLOCA

Fase 4 o de Reinundación: Es la consecución de la fase de “refill”. Tras el “refill” o rellenado comienza a aumentar el nivel del líquido de la vasija y es en esta fase cuando se termina por cubrir las barras de combustible. Debido a esta inundación de las barras de combustible, las cuales estaban a altas temperaturas, se produce una gran cantidad de vapor que se drenará por la rama caliente hacia los generadores de vapor y por la rama fría terminará fugando por la rotura. Podemos apreciar esta recirculación de vapor en la figura X.

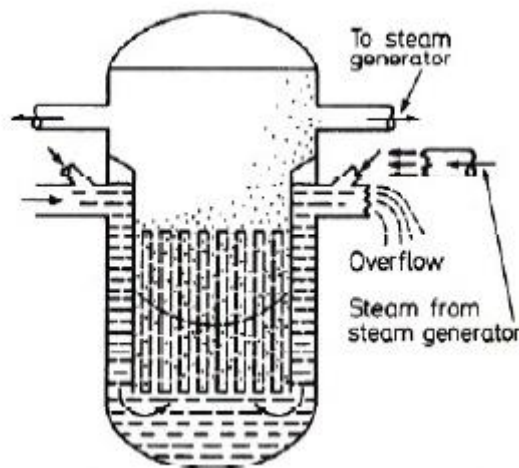


Figura 4.5-5 – Recirculación del vapor tras la reinundación de las barras de combustible

También es aplicable la figura X donde vimos el “refill”; puesto que, aproximadamente, a partir del segundo 40 y hasta el 250 hablamos de Reinundación o “reflood” (210 segundos de duración)

Al sufrirse cualquier tipo de LOCA, la central actúa llevando las instalaciones de la misma hasta lo que se conoce como “parada segura”, donde no existan riesgos de radiación y/o fuga de vapor que afecten tanto al interior como al entorno de la central. Por ello la temperatura descenderá por debajo de los 630 °K a los que se encuentran las vainas de combustible sumergidas en servicio.

La evolución de temperatura en las vainas de combustible en un LBLOCA se muestra sobre la figura 4.5-6.

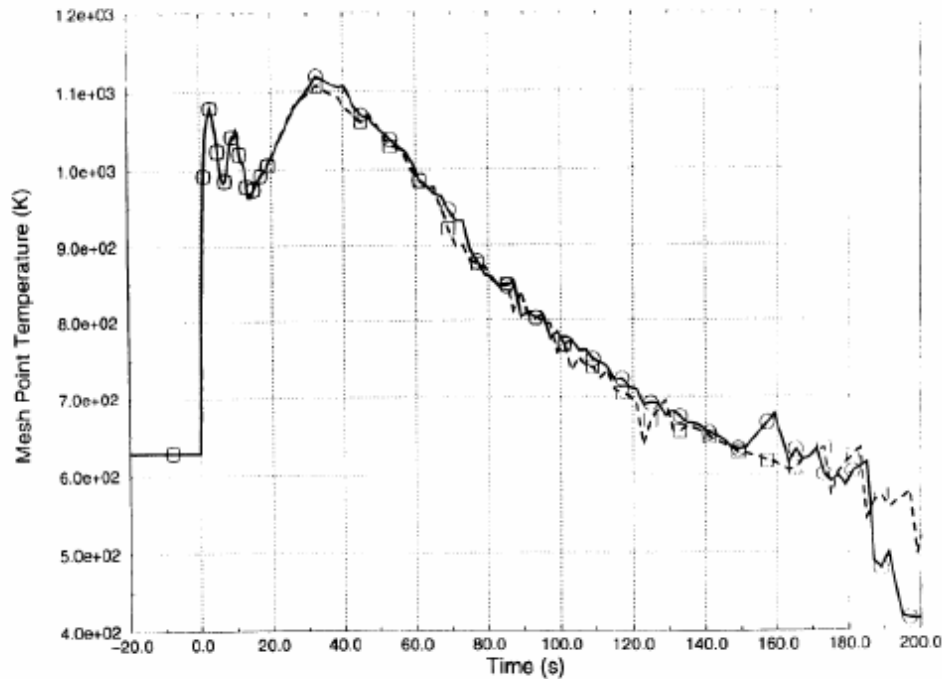


Figura 4.5-6 – Evolución de la temperatura en LBLOCA

Por otro lado, vemos en la figura 4.5-7 la evolución de la temperatura, así como el valor máximo (PCT, Peak Clad Temperature) que soportarán las vainas para sobrevivir al accidente pudiendo ser utilizadas nuevamente tras éste.

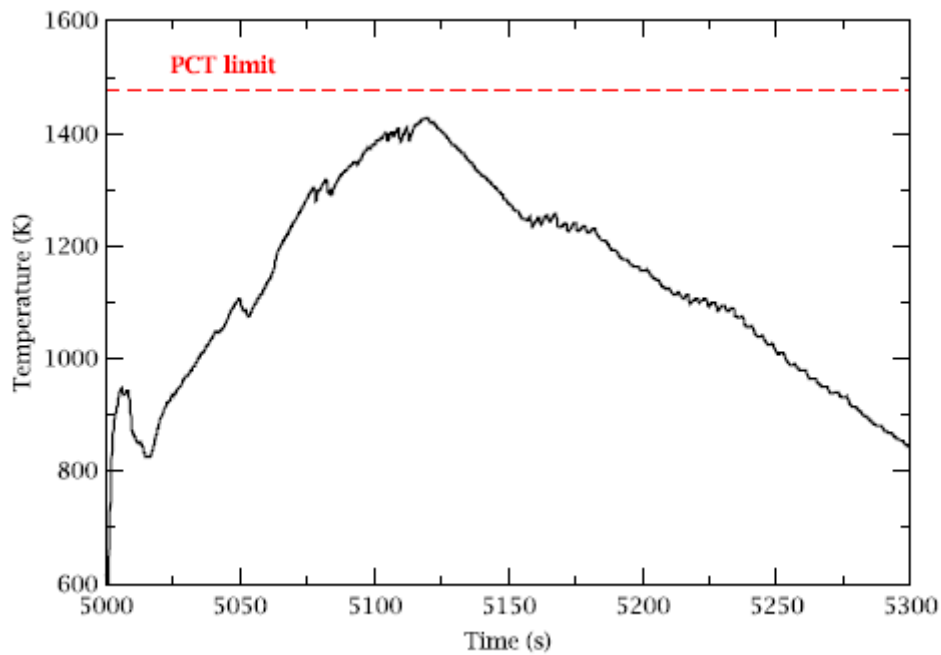


Figura 4.5-7 – PCT, Peak Clad Temperature

Fase 5 o Refrigeración: Los sistemas de ECCS que continúan funcionando, aportan refrigerante que irá actuando a largo plazo hasta alcanzar los niveles de temperatura estacionarios. Como es previsible que ocurra con este tipo de roturas, el depósito de recarga RWST (Reload Water System Tank) de los sistemas de refrigeración, como LPSI, HPSI, ECCS, etc. Puede haber llegado a niveles mínimos. Por ello el agua que ha entrado y salido por la rotura, la cual por este motivo no ha cumplido su función completa de refrigeración, es recogida por los sumideros de la contención para reinyectarse al reactor de nuevo por las ramas frías.

El ECCS también inyectará agua tras varias horas desde el inicio del LBLOCA en las ramas calientes, de tal modo que se controle el nivel de ácido bórico en el agua de la vasija.

Ambas reinyecciones de refrigerante han de ser accionadas por un operador, al contrario que las medidas en las fases previas mencionadas, donde estas se ejecutan de manera automática por sensores de presión.

En esta etapa no se contempla la duración puesto que puede variar mucho dependiendo del rango de la rotura y la evolución termodinámica del reactor.

A modo resumen, en la Tabla 4.5-1 vemos la duración aproximada del accidente LBLOCA:

Fase	Duración (s)	Tiempo total (s)
Descarga ("Blowdown")	20	0 - 20
By-Pass	10	20 - 30
Rellenado ("Refill")	10	30 - 40
Reinundación ("Reflood")	210	40 - 250
Refrigeración a Largo Plazo ("Long Term Cooling")	-	250 -

Tabla 4.5-1 – Tiempos de LBLOCA

Una vez sean alcanzados los niveles de operación de presión y temperatura previos al LOCA, se realizará lo que se conoce como una “parada segura” donde se abre el circuito secundario deteniendo así los sistemas de producción de energía. De este modo los técnicos pertinentes podrán proceder a la reparación de la rotura en condiciones de seguridad.

V. CALIFICACIÓN NUCLEAR K1 DE UN EQUIPO ELECTROMAGNETICO

5.1 Documentación de referencia y Normativa RCC-E para la confección de un programa de calificación tipo K1

La documentación de referencia que se ha usado para la confección del programa particular de calificación fue proporcionada por CLIENTE y FABRICANTE además de las bases que sienta la RCC-E, sus guías UNE (también conocidas como EN o IEC) y los documentos de calidad pertenecientes a los ejecutores de la propia campaña de calificación; Tecnatom y los LABORATORIOS. Este conjunto de documentos se muestra a continuación.

Por parte del FABRICANTE:

1. D305914002299 Índice A- «Especificación particular de ensayos de calificación de EQUIPOS del FABRICANTE» aportada por el CLIENTE (a partir de ahora “FAB” y “CLT”, respectivamente).

Por parte del CLIENTE:

2. E-mails del 3 al 8 de septiembre de 2014 «Ensayos de resistencia de aislamiento y resistencia del circuito» aportada por el CLT.

Referenciadas por la RCC-E, las guías:

3. ENSE070084 A – Calificación de materiales eléctricos en condiciones accidentales – Especificación general de calificación para ensayos. Normativa perteneciente a la RCC-E.
4. ENSECC060193 B – Normas CEM (inmunidad) y exigencias a especificar para los materiales eléctricos. Normativa perteneciente a la RCC-E.
5. NF EN 29104 – Métodos de evaluación del funcionamiento de Caudalímetros electromagnéticos con líquidos. Normativa perteneciente a la RCC-E.
6. CRT 91.C.112 – Resistencia de los materiales a terremotos - Disposiciones genéricas para el ensayo biaxial mediante el uso de acelerómetros. Normativa perteneciente a la RCC-E.
7. CRT 91.C.113 – Resistencia a irradiación y resistencia a condiciones termodinámicas y químicas en el recinto de confinamiento – condiciones generales para los ensayos. Normativa perteneciente a la RCC-E.

8. NF EN 61000-4-2: Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 4-2: Técnicas de ensayo y de medidas - Ensayo de inmunidad a las descargas electrostáticas (2009). Normativa perteneciente a la RCC-E.
9. NF EN 61000-4-3: Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 4-3: Técnicas de ensayo y de medidas – Ensayos de inmunidad campos electromagnéticos radiados a frecuencias radioeléctricas (2006). Normativa perteneciente a la RCC-E.
10. NF EN 61000-4-4: Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 4-4: Técnicas de ensayo y de medidas - Ensayo de inmunidad a transitorios eléctricos rápidos en ráfagas (2005). Normativa perteneciente a la RCC-E.
11. NF EN 61000-4-5: Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 4-5: Técnicas de ensayo y de medidas - Ensayo de inmunidad a ondas de choque (2007). Normativa perteneciente a la RCC-E.
12. NF EN 61000-4-6: Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 4-6: Técnicas de ensayo y de medidas - Ensayo de inmunidad a las perturbaciones conducidas, inducidas por campos radioeléctricos (2009). Normativa perteneciente a la RCC-E.
13. NF EN 61000-4-18: Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 4-18: Técnicas de ensayo y de medidas - Ensayo de inmunidad a onda oscilatoria amortiguada (2007). Normativa perteneciente a la RCC-E.
14. NF EN 61000-6-4: Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 6-4: Normas genéricas – Norma sobre la emisión para ambientes industriales (2007). Normativa perteneciente a la RCC-E.

Aportadas por TECNATOM:

15. PC-EIE, Rev. 3, «Programa de Calidad del Laboratorio de ensayos de Ingeniería de Equipos» de Tecnatom, S.A.
16. PC-IE, Rev. 2, «Programa de Calidad de Ingeniería de Equipos» de Tecnatom.
17. LEIE-00, Rev. 2, «Procedimiento de recepción, Inspección visual y verificación funcional de equipos y componentes a ensayar en el laboratorio de ensayos de Ingeniería de Equipos» de Tecnatom, S.A.
18. MC, Rev. 13 "Manual de Calidad" de Tecnatom, S.A.

Por parte de los LABORATORIOS asociados:

19. "Manual de Calidad", Edición 2013 Rev.0, de LABORATORIO 4, S.A. (a partir de ahora "LAB")
20. QA-MAN-1200-001-LAB3. Edición: 02 "Manual de calidad de los laboratorios de ensayo y calibración de LAB3", de LAB 3.
21. Sistema de Calidad de LAB 1.

5.2 Organización y Responsabilidades del ensayo sísmico-ambiental

La realización de cualquier proyecto de calificación o dedicación nuclear realizado por el departamento tendrá una cadena interna de responsabilidades previamente definida de la manera en que se representa en la figura 5.2-1:

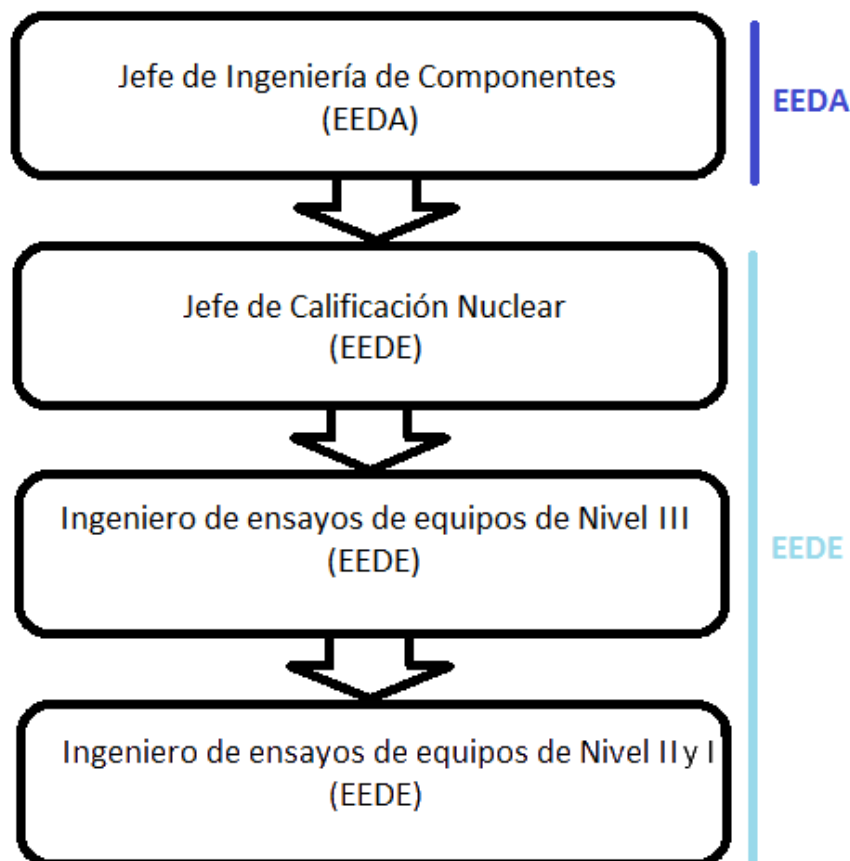


Figura 5.2-1 – Jerarquía de ingeniería de calificación

Los ensayos son realizados y supervisados, respectivamente, por los ingenieros de nivel II y III pertenecientes a nuestro departamento EEDE, además de los profesionales

subordinados en laboratorios ajenos y propios a la empresa. Estas prácticas son a su vez supervisadas por el jefe del departamento y aceptadas por el responsable de la organización, el jefe de ingeniería de componentes.

La organización es responsable de la presentación de los resultados de ensayos a través de la realización de documentación que se realiza en el seno de EEDE. Dicha documentación se realiza tras concretarse el contrato del proyecto entre la empresa, el cliente y el fabricante (en el caso de que éstos dos últimos no fueran el mismo). La estructura siempre parte con un programa de ensayos detallado que las partes aceptan y finaliza con un informe de resultados expedido por nuestra organización. En el transcurso de estos ensayos pueden aparecer otros informes que añadan información sobre los trabajos realizados. Fundamentalmente se trata de procedimientos, en el caso de ensayos que haya que detallar en profundidad por seguir éstos normas o criterios externos a la empresa, por realizarse en laboratorios externos a la misma... etc. Y por otro lado informes de incidencias y no conformidades, para dejar constancia y notificar todo contratiempo o accidente que sufran los equipos, así como las medidas para subsanar dichos acontecimientos.

Todos los documentos elaborados por EEDE pasarán por el departamento de calidad para su validación antes de ser remitidos de manera oficial a cliente y fabricante. De igual modo, este departamento realiza auditorias periódicas a EEDE sobre tareas aleatorias con el fin de garantizar la calidad del servicio y el cumplimiento de políticas internas de calidad, así como la legislación vigente.

Tecnatom como empresa certificada por el ENAC para la realización de ensayos de simulación de accidente nuclear L.O.C.A. realiza sus informes con su sistema de calidad certificada que sigue la “ISO-9001: 2008 Certification” y las normas de la “10 CFR 50 Appendix B”. Apoyado en estas normativas y en sus años de experiencia Tecnatom realiza los programas de calificación.

En el apartado del informe final de la calificación se muestran todos los resultados del proyecto.

5.3 Requisitos de calificación

5.3.1 Dominio de aplicación del proceso

Este proyecto tiene como dominio de aplicación la calificación de tres tipos de EQUIPOS, los cuales, por motivo de confidencialidad con el FABRICANTE y el CLIENTE (a partir de ahora “FAB” y “CLT”, respectivamente), se tratarán como equipos genéricos.

A pesar de la confidencialidad que impide explicar al detalle de que equipos se trata, esto no impedirá hablar de los ensayos realizados junto con sus resultados, así como del informe final de calificación.

5.3.2 Equipo a calificar; Características del equipo

El EQUIPO a calificar será de la misma naturaleza en todos los casos. Se trata de un EQUIPO de funcionamiento electromagnético que operará en planta en el circuito primario del reactor de una central de tipo PWR. Esto implica que el tipo de calificación sea de tipo K1, puesto que, al encontrarse en la contención, además de que el EQUIPO sufrirá la cantidad de radiación más alta dentro de la central, este podría sufrir un accidente de tipo L.O.C.A.

Como venimos de mencionar, de este tipo de EQUIPO se calificarán tres modelos de tres tamaños distintos, los cuales definiremos como “S”, “M” y “L”. Para mayor fiabilidad de los resultados, el FAB, a petición del CLT nos proporciona dos muestras de cada dimensión de los cuales se realizarán ensayos alternos, los cuales se detallan en el apartado de *“Elaboración del procedimiento del ensayo sísmico-ambiental”*. Por ello, de manera interna, las muestras se renombrarán como S1, S2; M1, M2 y L1, L2. La muestra L1 permanecerá en reserva salvo cambios que acuerden el CLT con el FAB y TECNATOM.

5.3.3 Criterios de aceptación

Los criterios de aceptación se hacen siguiendo la documentación que aportan el cliente, el fabricante, los laboratorios subcontratados por Tecnatom, el propio Tecnatom y la normativa de calificación francesa RCC-E. Por motivos de confidencialidad en el proyecto, hay informaciones que permanecerán reservadas, como por ejemplo el

nombre del CLT, el FAB y los LAB subcontractados, los cuales nombraremos de esta manera genérica y en mayúsculas.

Los criterios de aceptación varían con la naturaleza de cada ensayo por lo que estos se mostrarán en la explicación de todos y cada uno de los ensayos en los apartados siguientes.

5.4 Elaboración y ejecución del procedimiento del ensayo sísmico-ambiental

5.4.1 Confección del programa de ensayos

Para la confección de los procedimientos de ensayos que seguirá el equipo a calificar tendremos que tener en cuenta el tipo de equipo y el tipo de entorno en planta al que será sometido dicho equipo. Esta información es estudiada por nuestra empresa junto con el CLIENTE y el FABRICANTE para elaborar el programa de ensayos que se seguirá en todo momento.

Además, para garantizar la calidad de los ensayos, se han de cumplir con los estándares de seguridad nuclear internacional y nacional. En este caso, dichos estándares vendrán reflejados por la norma RCC-E.

A los estándares de seguridad nuclear ya mencionados añadiremos aquellos específicos que demanden CLIENTE y FABRICANTE, así como los certificados de calidad de Tecnatom y LABORATORIOS asociados que garantizan que los equipos utilizados en los ensayos están correctamente calibrados en el momento de su uso.

Mi participación en los ensayos consiste en supervisar junto al ingeniero de Nivel II o III de Tecnatom que todo se realiza según lo ya pactado con las otras partes del proyecto. Estos ensayos serán realizados en las dependencias de Tecnatom, quien además subcontractará a cinco LABORATORIOS para realizar algunos de éstos.

Con todo ello se confecciona el programa que contiene los ensayos detallados para el proyecto. Estos ensayos se resumen en la tabla 5.1:

Lugar de ensayo Ensayo		TECNATOM	LAB 1	LAB 2	LAB 3	LAB 4	LAB 5	FAB
0. ACCIONES PRELIMINARES								
0.1	Preparación de la documentación	X						
0.2	Diseño y adquisición de materiales y herramientas	X						
0.3	Soporte técnico							X
1. ENSAYOS DE REFERENCIA								
1.1	Inspección visual y acondicionamiento de la muestra	X						
1.2	Resistencia de aislamiento	X						
1.3	Rigidez dieléctrica	X						
1.4	Resistencia del circuito	X						
2. ENSAYOS DE CEM								
2.1	Descarga electrostática		X					
2.2	Campos electromagnéticos irradiados		X					
2.3	Transitorios rápidos en ráfagas		X					
2.6	Ondas de choque		X					

Lugar de ensayo Ensayo		TECNATOM	LAB 1	LAB 2	LAB 3	LAB 4	LAB 5	FAB
3. ENSAYOS DE APRECIACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN EL TIEMPO								
3.1	Envejecimiento térmico	X						
3.2	Vibraciones				X			
3.3	Frío				X			
3.4	Calor húmedo				X			
3.5	Niebla salina				X			
3.6	Funcionamiento prolongado				X			
4. ENSAYOS EN CONDICIONES DE ACCIDENTE								
4.1	Irradiación						X	
4.2	Sismo					X		
4.3	Ensayo de simulación de accidente termodinámico (fallo L.O.C.A)	X						
4.4	Características intrínsecas finales							X

Tabla 5.4-1 – Programa de calificación con planificación por laboratorios

Una vez definidos los ensayos y su lugar de realización, se acuerda con el CLIENTE, en base a sus necesidades y su presupuesto, los ensayos que se realizarán sobre cada equipo, quedando la muestra L1 quedará en reserva, como ya dijimos anteriormente.

Por ello, los equipos L y M no serán testados para sus límites de operación. Además, del equipo L tampoco se probarán sus características frente a los ensayos de campo electromagnético.

Ensayos	EQUIPOS				
	S1	S2	M1	M2	L2
1. ENSAYOS DE REFERENCIA					
Inspección visual y acondicionamiento de la muestra	X	X	X	X	X
Resistencia de aislamiento	X	X	X	X	X
Rigidez dieléctrica	X	X	X	X	X
Resistencia del circuito	X	X	X	X	X
2. ENSAYOS DE CEM					
Descarga electrostática		X	X		
Campos electromagnéticos irradiados		X	X		
Transitorios rápidos en ráfagas		X	X		
Ondas de choque		X	X		
3. ENSAYOS DE APRECIACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN EL TIEMPO					
Envejecimiento térmico	X			X	X
Vibraciones	X			X	X
Frío	X			X	X
Calor Húmedo	X			X	X
Niebla salina	X			X	X
Funcionamiento prolongado	X			X	X

Ensayos	EQUIPOS				
	S1	S2	M1	M2	L2
4. ENSAYOS EN CONDICIONES DE ACCIDENTE					
Irradiación	X			X	X
Sismo	X			X	X
Ensayo de simulación de accidente termodinámico (fallo L.O.C.A)	X			X	X
Características intrínsecas finales	X	X	X	X	X

Tabla 5.4-2 – Programa de calificación con planificación por equipos a ensayar

A continuación, detallaremos la planificación en el tiempo, así como la ejecución de todos y cada uno de estos ensayos.

5.4.2 Planificación de los ensayos

Todos estos ensayos se han ido sucediendo, como venimos de mostrar, en la sede de Tecnatom o en los centros de trabajo de los distintos laboratorios asociados, así como del cliente y fueron realizados entre el 21 de octubre de 2014 y el 6 de junio de 2016

5.4.3 Ejecución y resultados de los ensayos

Procederemos a describir los ensayos realizados tal y como venimos de mostrar en las figuras 5.4-1 y 5.4-2 a pesar de que estos no fueron ejecutados siguiendo ese orden. Esto se debe a las capacidades y disponibilidades de los LABORATORIOS asociados, ya que de este modo los equipos se mantienen en ellos hasta terminar los ensayos contratados con los mismos y se evitan desplazamientos innecesarios minimizando el desgaste del equipo y ahorrando presupuesto del proyecto. Esta alteración en el orden no modifica el efecto de los ensayos sobre el equipo ya que los únicos ensayos

catalogados como destructivos (Condiciones de accidente) se realizan siempre al término de las campañas. En cualquier caso, a pesar de que esto siga la normativa aplicada, siempre es aprobado previamente con CLIENTE y FABRICANTE, como ocurrió en el presente proyecto.

Estos ensayos fueron los siguientes:

Fase 0: Acciones preliminares

Esta fase preliminar a ensayos consiste en recopilar toda la información y materiales, así como el diseño, concepción y/o adquisición de elementos/equipos que serán necesarios para los ensayos. Las sub-fases son las siguientes:

- 0.1 Preparación y documentación de ensayos

Realizada la contratación de los laboratorios pertinentes para las fechas establecidas y con la planificación existente, se establecieron dentro de la holgura posible que podían ofrecer algunos de estos laboratorios. La fecha de algunos ensayos se fija dentro de un periodo de tiempo, por ejemplo, el contrato con el LAB 1 se cerró para realizar los ensayos a lo largo de 4 meses desde la firma del contrato con unas fechas prefijadas que se debían confirmar o cambiar con 48 horas de antelación como mínimo.

Tras esto, se crea en el servidor interno de la organización una carpeta en el emplazamiento que corresponde para organizar toda la información referente al proyecto y que las personas encargadas puedan trabajar en red y tengan acceso a dicha información. Entre los documentos que albergará esta carpeta se encuentran manuales de uso, certificados de calibración, protocolos de ensayo, programa de la campaña de ensayos, albaranes de envío de material, registros mail con conversaciones entre las partes, imágenes de los equipos...etc. En definitiva, toda información útil que fundamente y respalde el proyecto.

- 0.2 Diseño y adquisición de materiales

Llave dinamométrica para realizar aprietes de tornillos en el montaje y desmontaje del equipo. Además, se reciben las propias muestras de ensayos

acompañadas de bobinas de cables para sus conexiones. La representación confidencial que haremos de los equipos aparece representada a continuación en la figura 5.4-0.2

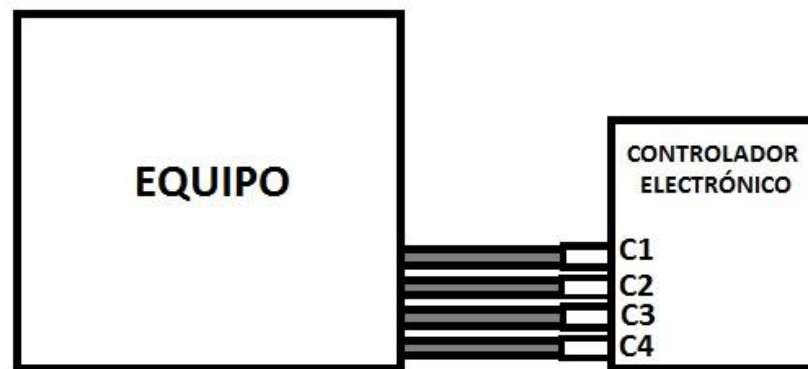


Figura 5.4-0.2 – Esquema del conjunto del equipo a ensayar

- 0.3 Soporte técnico

Se recibe material del FAB como instrucciones específicas y aclaraciones previas al trabajo a realizar. También se detalla el listado del material que se recibido

Fase 1: Ensayos de referencia

Estos primeros ensayos se realizan en TECNATOM. Consisten en verificaciones preliminares como el examen visual de las muestras y ensayos eléctricos comunes. A pesar de que los equipos ensayados tienen tamaños distintos, su sistema de control electrónico es el mismo, por lo que los ensayos eléctricos son idénticos. Estos se realizan a través de los 4 contactos del equipo de control que corresponden a distintos circuitos del mismo que se muestran en la Tabla 5.4-1:

Contactos	Circuitos
Contacto 1	Circuito de Electrodo
Contacto 2	Circuito de Bobina
Contacto 3	Circuito de Alimentación
Contacto 4	Resto de Circuitos

Tabla 5.4-1 – Contactos eléctricos del equipo

IMPORTANTE: Esta fase 1 de ensayos iniciales es también denominada como ENSAYOS FUNCIONALES, los cuales prueban las características eléctricas más básicas del equipo. Como ya vimos en el desglose del plan de actuación para la calificación de equipos, estos ensayos se repiten al terminar todos y cada uno de los ensayos posteriores, aunque con algunas modificaciones. Estos se detallan a continuación, desde los puntos 1.1 al 1.4 y para no repetir sus valores tras cada ensayo, simplemente se hará saber que estas comprobaciones han sido realizadas correctamente al término de cada ensayo, así como la aprobación de sus resultados.

Estos ensayos fueron realizados por los técnicos Tecnatom correspondientes, guiados y supervisados por mi persona y por el ingeniero Tecnatom correspondiente.

Esta fase se divide en:

- 1.1 Inspección visual y acondicionamiento de la muestra

Para la recepción de los equipos, se cuenta con la presencia del CLIENTE, FABRICANTE y de los LAB 1 y LAB4, quienes son aceptados a tal efecto previa petición tanto a los dos primeros como a TECNATOM. Una vez se reciben los equipos, se procede a verificar su estado.

Se reciben correctamente los 6 equipos, en cajas separadas y junto con las bobinas de cable que alimentan y controlan estos equipos.

En la Inspección visual y acondicionamiento de la muestra se aprecia en la muestra M1 un ligero picado por corrosión con algunas motas de óxido en las primeras capas de material metálico del equipo, junto a una junta polimérica. También, en la superficie de la muestra L1 se aprecian unas manchas de corrosión química, posiblemente por la aparición de líquido sobre la muestra, el cual no fue debidamente secado antes de empaquetar dicha muestra. Además, uno de los cables salientes del M1 se encuentra rajado por las torsiones sufridas.

Tras conversaciones con FAB y CLT, se decide sustituir el cable dañado para evitar fugas eléctricas y se aceptan los daños superficiales en las muestras, puesto que no suponen una pérdida de fiabilidad para los ensayos a realizar. Por otro lado, para solucionar las torsiones que sufren los cables del equipo se diseñan unos soportes de poliestireno expandido que para abrazar dichos cables durante los periodos de transporte de las muestras.

Con la supervisión del personal presente del FABRICANTE, el técnico de laboratorio prepara los cables del equipo, acoplado pines a los mismos para poder realizar las medidas eléctricas venideras. Así mismo, éste realiza el cambio pertinente del cable dañado y los soportes de poliestireno. A su vez, el ingeniero TECNATOM presente procede a la comprobación de las dimensiones significativas de las 6 muestras, las cuales coinciden con las especificaciones técnicas. También realiza en todos los cables una prueba de continuidad de los mismos midiendo en ambos extremos de los mismos con un polímetro.

Algunos de los resultados de la inspección visual aparecen reflejados en la Imagen siguiente:

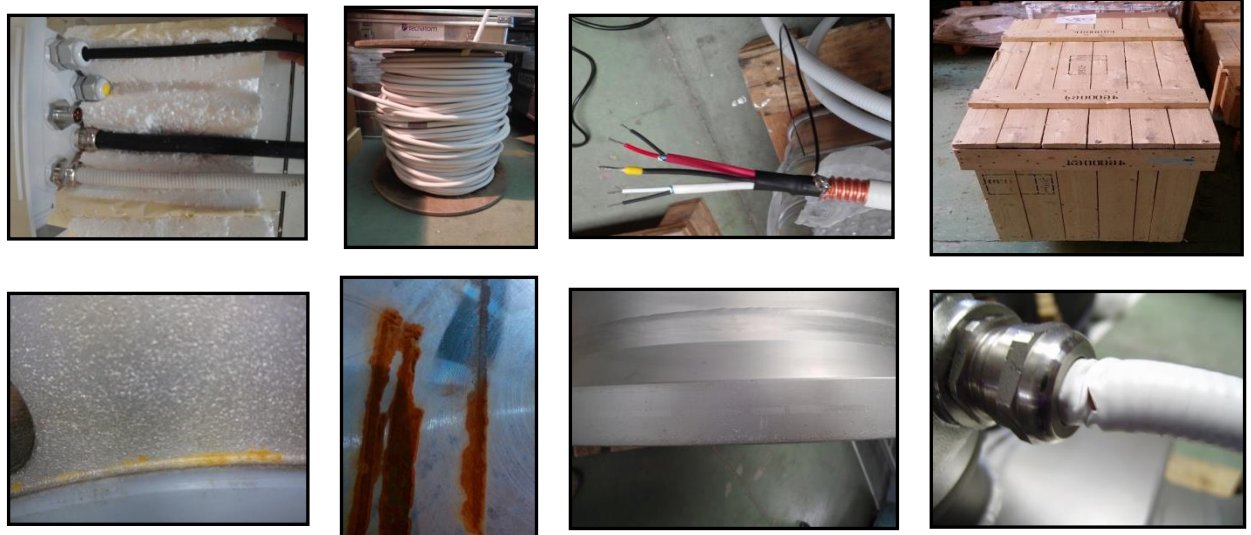


Imagen – Detalles de la recepción del equipo

- **1.2 Resistencia de Aislamiento**

Ensayo eléctrico que se realiza para medir la resistencia que presenta un material de aislamiento al flujo de corriente que se genera al aplicar un voltaje de corriente continua. La tensión se aplica entre los conductores que transportan la corriente y la tierra a través de un megómetro debidamente calibrado.

Siguiendo la normativa, se utilizan los siguientes valores para los parámetros al ensayo:

Duración	Tensión Nominal
60 segundos	500 Vcc

Tabla 5.4-1.2A – Parámetros de ensayo 1.2

Las medidas, como ya hemos dicho se toman entre conductor y la masa del resto del equipo. Además, se puentean el resto de contactos para hacerlos formar parte de dicha masa de referencia. La aplicación de la caída de tensión se realiza con una fuente de continua.

Los resultados obtenidos fueron:

EQUIPO	Ensayo	Resultado
S1	Contacto 1 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 2 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 3 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 4 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
S2	Contacto 1 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 2 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 3 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 4 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
M1	Contacto 1 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 2 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 3 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 4 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
M2	Contacto 1 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 2 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ

	Contacto 3 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 4 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
L2	Contacto 1 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 2 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 3 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ
	Contacto 4 vs. Masa + RESTO	> 999,9 MΩ

Tabla 5.4-1.2B– Resultados de ensayo 1.2

El criterio de aceptación que se le dio a los resultados de este ensayo fue:

Criterio de aceptación
> 100 MΩ

Tabla 5.4-1.2C– Criterios de aceptación de ensayo 1.2

Por ello, todos estos ensayos cumplen con el criterio preestablecido.

Las condiciones en las que se realizó este ensayo fueron:

Temperatura	Humedad
22,3 °C	25% HR

Tabla 5.4-1.2D– Condiciones de ensayo 1.2

- 1.3 Rigidez Dieléctrica

Consiste en estudiar la cantidad de corriente que puede pasar a través de un material dieléctrico al aplicarle a este una determinada diferencia de potencial. Generalmente, y así se realizará para este ensayo, el potencial será en corriente

alterna y se aplicará con un megometro debidamente calibrado. El contacto 1 y 2 se realizarán a 1500 Vac y el 3 y el 4 a 500 Vac.

Siguiendo la normativa, se utilizan los siguientes valores para los parámetros al ensayo:

Duración	Tensión Nominal
60 segundos	1500 Vac
60 segundos	500 Vac

Tabla 5.4-1.3A – Parámetros de ensayo 1.3

Esta tensión se les aplica a los 4 contactos del controlador eléctrico del equipo con una fuente de corriente alterna y con la misma configuración que para el ensayo anterior de resistencia de aislamiento, pero con una fuente de configuración alterna.

Los resultados obtenidos fueron:

EQUIPO	Ensayo	Resultado
S1	Contacto 1 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
	Contacto 2 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
	Contacto 3 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
	Contacto 4 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
S2	Contacto 1 vs. Masa + RESTO	0,7 mA
	Contacto 2 vs. Masa + RESTO	0,7 mA
	Contacto 3 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
	Contacto 4 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
M1	Contacto 1 vs. Masa + RESTO	0,4 mA
	Contacto 2 vs. Masa + RESTO	0,4 mA
	Contacto 3 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
	Contacto 4 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
M2	Contacto 1 vs. Masa + RESTO	0,7 mA
	Contacto 2 vs. Masa + RESTO	0,7 mA

	Contacto 3 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
	Contacto 4 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
L2	Contacto 1 vs. Masa + RESTO	1,2 mA
	Contacto 2 vs. Masa + RESTO	1,2 mA
	Contacto 3 vs. Masa + RESTO	0,0 mA
	Contacto 4 vs. Masa + RESTO	0,0 mA

Tabla 5.4-1.3B– Resultados de ensayo 1.3

El criterio de aceptación que se le dio a los resultados de este ensayo fue:

Criterio de aceptación
< 10 mA

Tabla 5.4-1.3C– Criterios de aceptación de ensayo 1.4

Por ello, todos estos ensayos cumplen con el criterio preestablecido.

Las condiciones en las que se realizó este ensayo fueron:

Temperatura	Humedad
22,4 °C	24,2% HR

Tabla 5.3-1.3D– Condiciones de ensayo 1.3

- 1.4 Resistencia del circuito

Medimos la resistencia equivalente de los circuitos. Esta comprobación se realiza simplemente con un polímetro debidamente calibrado, midiendo entre la entrada del contacto y la masa del equipo.

EQUIPO	Ensayo	Resultado
S1	Contacto 1 vs. Masa	23,52 MΩ
	Contacto 2 vs. Masa	20,09 MΩ
	Contacto 3 vs. Masa	22,01 MΩ
	Contacto 4 vs. Masa	22,02 MΩ
S2	Contacto 1 vs. Masa	23,46 MΩ
	Contacto 2 vs. Masa	20,16 MΩ
	Contacto 3 vs. Masa	22,11 MΩ
	Contacto 4 vs. Masa	22,14 MΩ
M1	Contacto 1 vs. Masa	23,06 MΩ
	Contacto 2 vs. Masa	24,62 MΩ
	Contacto 3 vs. Masa	21,95 MΩ
	Contacto 4 vs. Masa	21,94 MΩ
M2	Contacto 1 vs. Masa	24,99 MΩ
	Contacto 2 vs. Masa	22,02 MΩ
	Contacto 3 vs. Masa	23,2 MΩ
	Contacto 4 vs. Masa	23,10 MΩ
L2	Contacto 1 vs. Masa	20,48 MΩ
	Contacto 2 vs. Masa	23,27 MΩ
	Contacto 3 vs. Masa	21,20 MΩ
	Contacto 4 vs. Masa	21,21 MΩ

Tabla 5.4-1.4B – Resultados de ensayo 1.4

El criterio de aceptación que se le dio a los resultados de este ensayo fue:

Criterio de aceptación
> 20 MΩ

Tabla 5.4-1.4C– Criterios de aceptación de ensayo 1.4

Por ello, todos estos ensayos cumplen con el criterio preestablecido.

Las condiciones en las que se realizó este ensayo fueron:

Temperatura	Humedad
24,1 °C	24,3% HR

Tabla 5.4-1.4D– Condiciones de ensayo 1.4

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

IMPORTANTE: En lo sucesivo, se detallarán al máximo los ensayos dentro de las posibilidades de mi puesto. A pesar de haber realizado todos y cada uno de los ensayos, para los ensayos que hemos realizado fuera de Tecnatom el detalle de los mismos será algo menor que para los realizados en nuestras dependencias, los cuales han sido conducidos y supervisados por personal propio. Esto se debe a la subcontratación de los LABs, que son quienes conducen los ensayos siguiendo la especificación técnica del ensayo. Además, debido a la confidencialidad del contrato del proyecto, algunos aspectos del proyecto no serán mostrados en profundidad por convenio con FAB, CLT y el propio Tecnatom.

No obstante, con la especificación proporcionada por el CLT, las normativas de calificación nuclear y la información recabada de los operarios de los LABs así como del personal Tecnatom, mostraremos todo el trabajo realizado de una manera fidedigna.

Fase 2. Ensayos de CEM

Tras la satisfactoria consecución de los ensayos iniciales que realizamos en las dependencias TECNATOM, se trasladan los equipos a las dependencias del LAB 1 con total normalidad. En las instalaciones del mismo se efectúan todos los ensayos CEM (Compatibilidad Electromagnética) de la muestra S2 y M1, puesto que como ya vimos la muestra L2 solo realizará las fases 4 y 5.

Los ensayos CEM, son todos aquellos que están relacionados con el principio de funcionamiento de los tres equipos, independientemente de su tamaño, es decir, la teoría electromagnética.

Como todas las fases y de aquí en adelante, estos ensayos fueron realizados por los técnicos del LAB correspondiente, guiados y supervisados por mi persona y por el ingeniero Tecnatom correspondiente.

Esta fase se divide en:

- 2.1 Descarga electrostática

En este ensayo se comprueba la respuesta del equipo cuando le recibe descargas electrostáticas, las cuales podrían aparecer en su ambiente de servicio. A Esto se simula aplicando sobretensiones en diferentes sectores del equipo, diferenciando entre superficies conductoras o metálicas y superficies aislantes. Por ello, estas son aplicadas en dos modalidades y de la siguiente manera:

- 4 kV sobre las superficies conductoras o metálicas
- 8 kV sobre el aire próximo a las superficies aislantes

De este modo 20 descargas serán aplicadas (10 con polaridad positiva y 10 con polaridad negativa) en ambas modalidades para 4 áreas de la muestra seleccionadas, teniendo el equipo alimentado (230V). El estudio queda de la siguiente manera:

Área del equipo	Tipo de superficie	Sobretensiones	Polaridad	Descargas
Parte Superior	Conductor	± 4 kV	Positiva	10
			Negativa	10
	Aislante	± 8 kV	Positiva	10
			Negativa	10
Parte Inferior	Conductor	± 4 kV	Positiva	10
			Negativa	10
	Aislante	± 8 kV	Positiva	10
			Negativa	10
Parte Izquierda	Conductor	± 4 kV	Positiva	10
			Negativa	10
	Aislante	± 8 kV	Positiva	10
			Negativa	10
Parte Derecha	Conductor	± 4 kV	Positiva	10
			Negativa	10
	Aislante	± 8 kV	Positiva	10
			Negativa	10

Tabla 5.4.-2.1A – Parámetros de ensayo 2.1

De este modo comprobamos si el equipo puede disipar dichas sobretensiones sin que estas afecten a sus componentes y por ello a su funcionamiento.

La configuración del ensayo fue la siguiente:

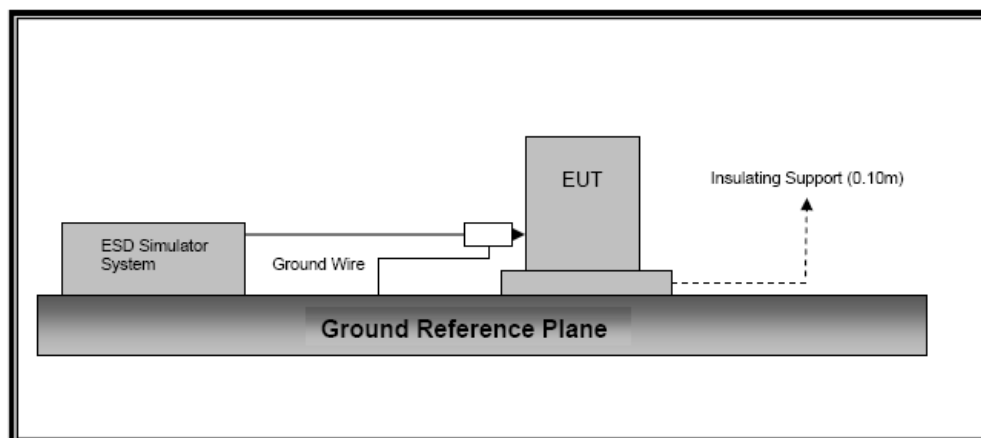


Figura 5.4-2.1 – Configuración de ensayo 2.1

Donde el simulador de sobrecargas actúa sobre la muestra (EUT), la cual está colocada con su área de ensayo en perpendicular a la pistola piezoeléctrica de dicho sistema y colocada en el plano horizontal sobre un soporte aislado.

IMPORTANTE: Para comprobar el funcionamiento del equipo tras todos y cada uno de los ensayos se efectúan ENSAYOS FUNCIONALES con los criterios de aceptación que se representaron en la fase 1:

Para simplificar estas medidas de verificación, si todos ellos son satisfactorios para todos los equipos ensayados, se mostrará el siguiente texto ilustrado con una tabla idéntica a la tabla 5.2.1.2, resumen que muestra los resultados de estos ensayos:

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la tabla 5.2.1.2:

ENSAYOS FUNCIONALES tras CEM 2.1	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-2.1B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 2.1

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

- **2.2 Campos electromagnéticos irradiados**

Este ensayo consiste en la observación de la influencia que el campo magnético proveniente de fuentes externas (como aparatos utilizados por operarios como pequeñas fuentes, transmisores de ondas de radio, de televisión...etc.) puede causar en este. Se realizan varias exposiciones de la muestra ante la fuente que

emite dichos campos situada en una cámara anecoica que mantiene un campo uniforme sin otras interferencias. Estas exposiciones se realizan de tal manera que la muestra será girada (rotación en el plano XZ) en varias posiciones y para cada giro se ensayará ésta en posición vertical y horizontal (rotación en el plano XY) para recibir los campos desde todas las direcciones posibles. A la hora de simular dichos campos electromagnéticos, el equipo será alimentado con la misma tensión que en el apartado 2.1. El estudio queda de la siguiente manera:

Posición (rotación XY)	Giro (rotación XZ)	Campo magnético	Tiempo de exposición	Gama de frecuencias
Vertical	90°	10 V/m	0,4 s	80 MHz - 3000 MHz
Horizontal			0,4 s	
Vertical	270°	10 V/m	0,4 s	
Horizontal			0,4 s	
Vertical	180°	10 V/m	0,4 s	
Horizontal			0,4 s	
Vertical	0°	10 V/m	0,4 s	
Horizontal			0,4 s	

Tabla 5.4-2.2A – Parámetros de ensayo 2.2

El barrido de frecuencias es continuo a velocidad logarítmica en función del tiempo. El cambio de frecuencia se realiza a una octava por minuto.

De este modo comprobamos si el equipo puede soportar estar expuesto a campos electromagnéticos sin que sus componentes y por ello a su funcionamiento se vean afectados.

El posicionamiento de la muestra durante el ensayo fue la siguiente:

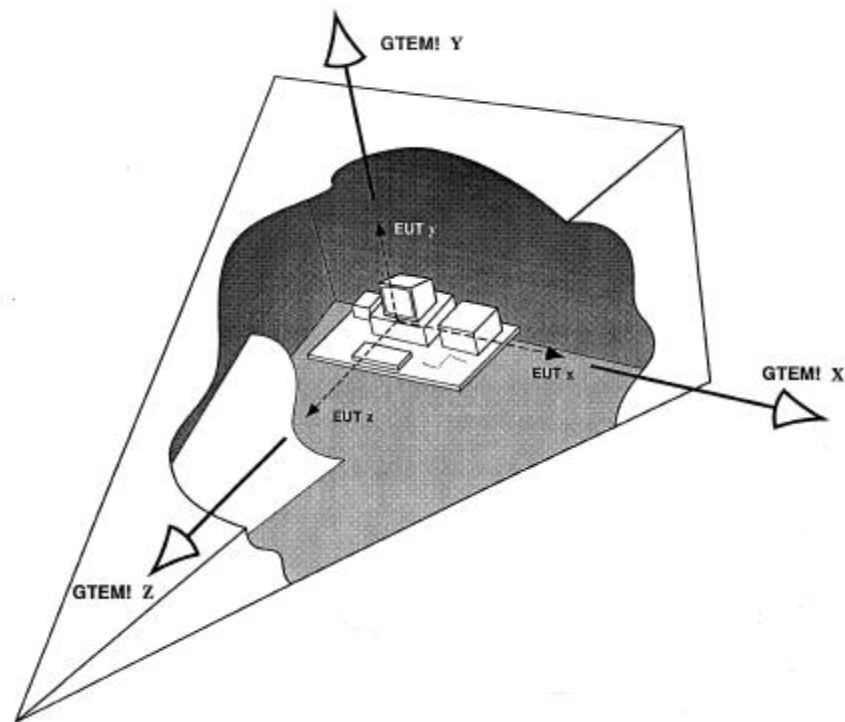


Figura 5.4-2.2 – Configuración de ensayo 2.2

La fuente que produce el campo electromagnético se sitúa dentro de la cámara semianecoica a 10 m, como se indicará con más detalle en el ensayo 2.6

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la tabla:

ENSAYOS FUNCIONALES tras CEM 2.2	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-2.2B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 2.2

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

- 2.3 Transitorios rápidos en ráfagas

En este ensayo se aplican tensiones rápidas y en ráfagas a los cuatro contactos, cuya configuración se explicó en la fase 1, para ver la respuesta del equipo sometido a regímenes transitorios que pudieran surgir por el uso de interruptores próximos (interrupción de cargas inductivas, rebote del contacto de un relé...etc.). Este ensayo se caracteriza por la gran amplitud de onda, la duración de la tensión que produce el régimen transitorio, la alta frecuencia de repetición del transitorio en ráfagas, así como la baja energía de los mismos. Los transitorios se aplican sobre los contactos del controlador eléctrico conectado al equipo. El equipo será alimentado con la misma tensión que en el apartado 2.1 El estudio queda de la siguiente manera:

Tipo de superficie	Sobretensiones	Polaridad	Frecuencia
Contacto 3	1 kV	Positiva	5 kHz
		Negativa	5 kHz
Contacto 4	2 kV	Positiva	5 kHz
		Negativa	5 kHz

Tabla 5.4-2.3A – Parámetros de ensayo 2.3

De este modo comprobamos si el equipo puede soportar los transitorios por conmutación que puedan surgir sin que sus componentes contacten y por ello su funcionamiento se vea afectado.

El posicionamiento de la muestra durante el ensayo fue la siguiente:

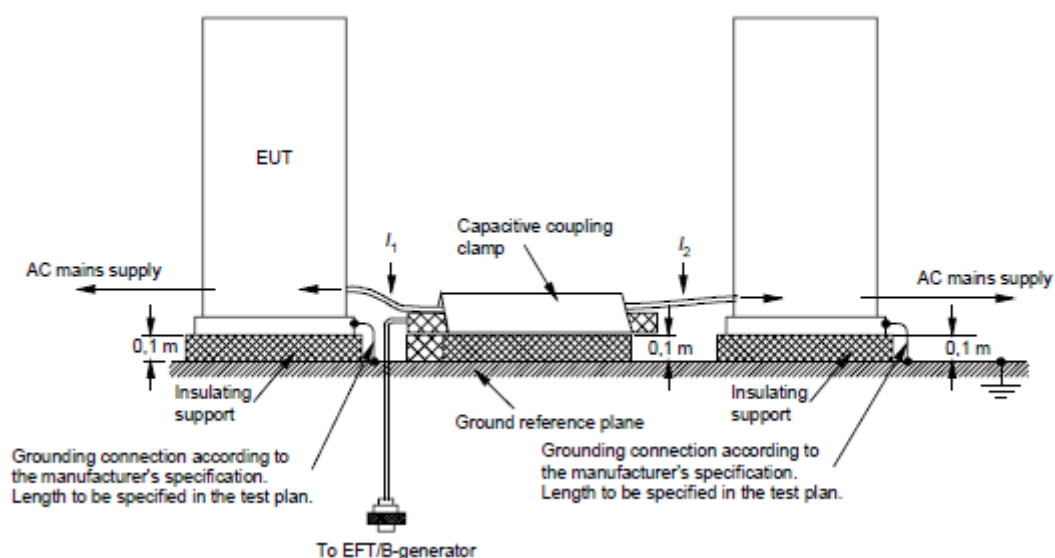


Figura 5.4-2.3 – Configuración de ensayo 2.3

El generador se conecta a una pinza de acople capacitiva que crea el régimen transitorio en el cable que va conectado a los contactos de la muestra, la cual se encuentra sobre una mesa aislante.

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la tabla 5.2.3.2:

ENSAYOS FUNCIONALES tras CEM 2.3	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-2.3B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 2.3

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

- 2.4 Ondas de choque

Consiste en someter al equipo a ondas de choque que pudieran venir de equipos anexos al mismo en su posición instalada en planta.

A través de un generador de tensión, que consiste en una fuente de tensión conectada a un circuito de diversas impedancias, abriéndolo y cerrándolo conseguiremos ondas de choque electromagnéticas con periodo y periodo medio respectivamente de 1,2 y 50 μs con la configuración de circuito abierto y 8 a 20 μs en cortocircuito. La tensión en circuito abierto y la corriente en cortocircuito para el circuito del generador están relacionadas 1:2 de tal modo que la fuente de tensión del generador se regulará a 1 kV para administrar al menos 1 onda por minuto. La tensión e intensidad se representan según las figuras 5.4-2.4A y 5.4-2.4B respectivamente:

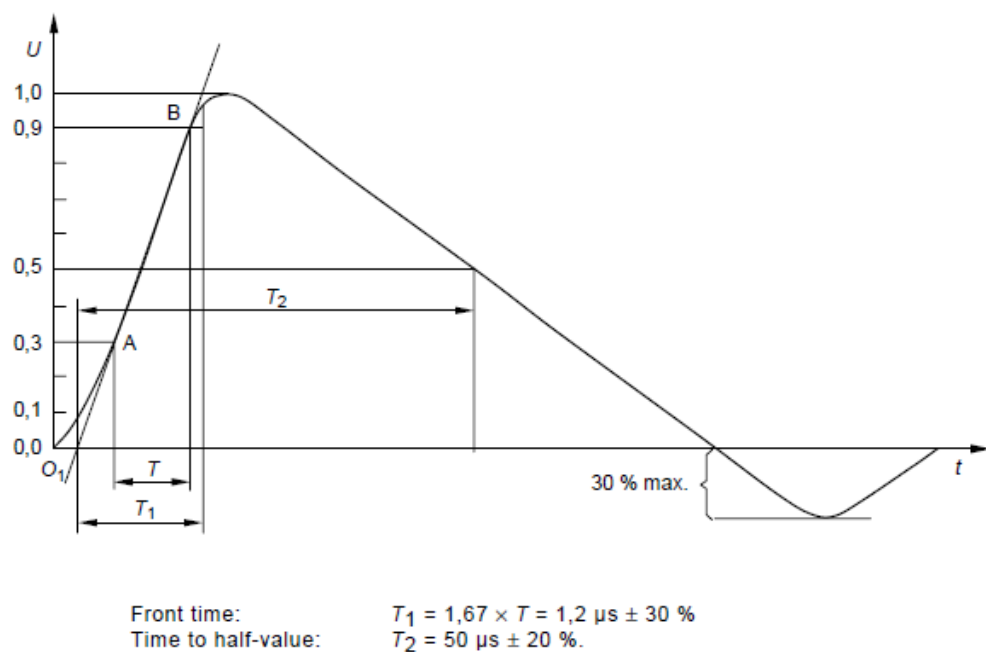


Figura 5.4-2.4A – Tensión del generador de ondas de choque

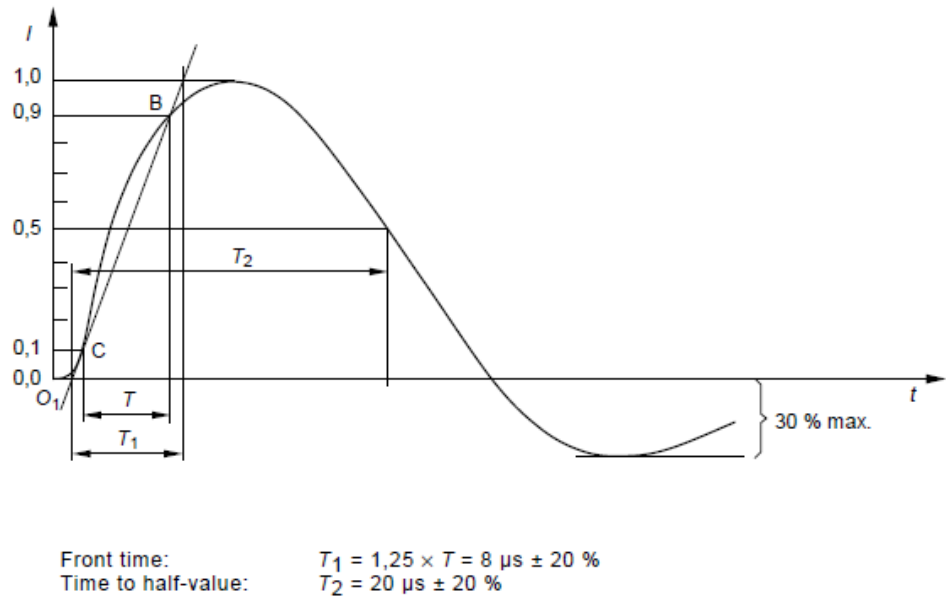


Figura 5.4-2.4B – Intensidad del generador de ondas de choque

La polarización de la ya mencionada fuente de tensión emitirá 5 ráfagas en polaridad positiva y 5 en polaridad negativa.

Las ondas se aplicarán con los contactos del controlador eléctrico conectado al equipo. El equipo será alimentado con la misma tensión que en el apartado 2.1 El estudio queda según la tabla 5.4-2.4A:

Ráfagas	Polaridad	Tensión
5	Positiva	1 kV
	Negativa	

Tabla 5.4-2.4A – Parámetros de ensayo 2.4

El posicionamiento de la muestra durante el ensayo fue la de la figura 5.4-2.4:

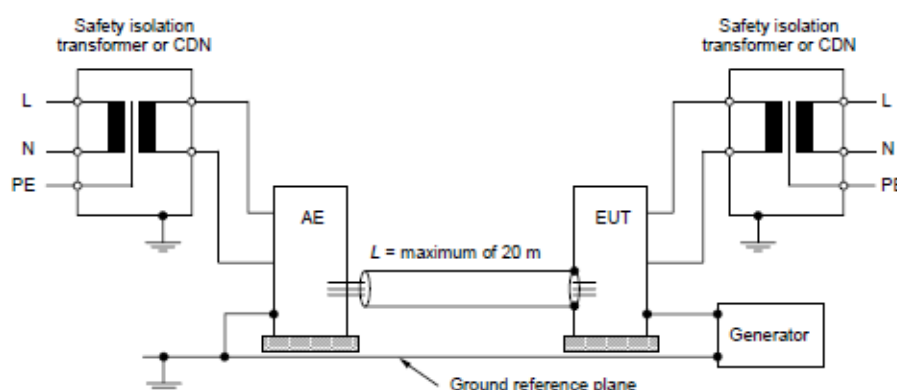


Figura 5.4-2.4 – Configuración de ensayo 2.4

El equipo se encuentra conectado al generador de tensión (AE) a través de un cable que no supera los 20m. Tanto el generador como la muestra se protegen con un transformador cada uno. Como ya dijimos, la muestra se mantiene alimentada.

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la tabla 5.4-2.4:

ENSAYOS FUNCIONALES tras CEM 2.4	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-2.4B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 2.4

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

Fase 3

Los equipos S2 y M1 concluyen sus campañas de ensayos con la finalización de la Fase 3 satisfactoriamente. Desde el LAB 3 son devueltos a Tecnatom, donde esperarán a la fase final donde se medirán sus capacidades intrínsecas finales para realizar el informe final. Para estos ensayos, Tecnatom envía al LAB 3 las muestras S1, M2 y L2 tras realizar el ensayo 4.1 de envejecimiento térmico en sus propias dependencias. Dichas muestras realizarán la campaña completa de ensayos de apreciación del comportamiento en el tiempo.

El conjunto de apreciación del comportamiento en el tiempo son los ensayos que están relacionados con los posibles deterioros que pudieran sufrir los equipos a lo largo de su ciclo de vida a causa de factores ambientales en su entorno de trabajo.

Como todas las fases y de aquí en adelante, estos ensayos fueron realizados por los técnicos del LAB correspondiente, guiados y supervisados por mi persona y por el ingeniero Tecnatom correspondiente.

Esta fase se divide en:

- 3.1 Ensayo de envejecimiento térmico

Con este ensayo se consigue simular el ciclo de vida del equipo, con lo que conseguiremos un equipo equivalente a aquel que ha estado operando en su temperatura de servicio sin por ello tener que esperar el tiempo completo de dicho ciclo. Así, obtenemos la degradación por temperatura que recibirá el equipo en planta. Esto se consigue con una modelización a través de la ecuación de Arrhenius:

$$t_e = t_s \cdot e^{-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_e} \right)}$$

Teniendo:

- t_e ; Tiempo de ensayo
- t_s ; Tiempo de servicio
- E_a ; Energía de activación [eV]
- T_e ; Temperatura de ensayo
- T_s ; Temperatura de servicio
- k ; Constante de Boltzmann = $8,6173324 \times 10^{-5} \left[\frac{eV}{K} \right]$

Para los tiempos de ensayo, tan sólo tendremos en cuenta que en función de las unidades que usemos para el tiempo de servicio t_s , obtendremos las mismas para el tiempo de ensayo, el cual es el que queremos calcular para saber la duración de nuestro ensayo t_e . Los parámetros a definir, además de la temperatura de servicio T_s del equipo, la cual viene determinada por CLT, deben determinarse energía de activación E_a y T_e .

A la hora de seleccionar la Energía de activación, podemos conocerla de dos maneras. Bien a través de un análisis termogravimétrico, el cual se subcontrata a un laboratorio externo o bien a través de documentación. La primera se ha realizado en contadas ocasiones a lo largo de la existencia del departamento de calificación, tan sólo a petición del cliente en correspondiente, debido a su elevado coste. La segunda, es aceptada internacionalmente al ser un método empírico con excelentes resultados. Para ello utilizaremos según los principios de seguridad nuclear, normativa y especificaciones del CLT la energía de activación menor de entre todas las de los materiales presentes en el equipo. De este modo, nos aseguramos la degradación máxima por temperatura del equipo. Para la energía de activación sólo tenemos que tener en cuenta los materiales que sufren degradación por temperatura (orgánicos/no metálicos), por lo que obtenemos de la especificación técnica la cantidad de material en cuestión.

La selección de la temperatura de ensayo también ha de ser estimada. Puesto que la modelización variará en función de ésta, no queremos someter a temperaturas excesivas a los equipos ya que a pesar de que esto acortaría mucho la duración del ensayo, se dañaría el equipo en cuestión de manera innecesaria y nada fidedigna con respecto a su ciclo de vida real. Por ello, de manera

empírica, tras 25 años de envejecimientos térmicos realizados en Tecnatom, siempre siguiendo criterios conservadores, se estima una temperatura de ensayo eficiente.

Estos tres equipos se han pedido calificar para actuar en la contención del reactor nuclear a una misma temperatura de servicio. Puesto, que la composición porcentual de los tres es exactamente la misma, el envejecimiento térmico será igual para las tres muestras de ensayo.

Con el uso de la ya mencionada ecuación y tras obtener la menor E_a de los materiales, el t_s , la T_s y tras estudiar el caso con ingenieros, CLT, LAB y FAB, para decidir qué T_e aplicar, los parámetros fueron los siguientes:

(Véase Anexo Arrhenius)

ts (años)	Te (°C ± 2)	Ts (°C)	te		
40	125	80	horas	días	mes
material	EPDM	k (eV/°K)	2234,6	93,1	3,1
%	12	8,6173324. 10 ⁻⁵			
Ea (eV)	1,36				

Tabla 5.4-3.1A – Parámetros de ensayo Arrhenius 3.1

Además de la temperatura del ensayo, en estos tests se tienen en cuenta la rampa de subida de temperatura, ya que el equipo ha de subir de temperatura progresivamente para acondicionarse debidamente al ensayo y no sufrir daños innecesarios. En ningún caso la temperatura de subida de rampa será superior a $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$. En este caso, según la especificación del CLT, la rampa fue de $0,8^{\circ}\text{C}/\text{min}$. El equipo, al término del ensayo, se mantendrá en las estufas apagadas durante al menos 4 horas, periodo en el cual las muestras alcanzan la temperatura ambiente evitando así sufrir un indeseado e innecesario choque térmico.

En cuanto a la configuración del ensayo, este ensayo se realiza en las estufas en propiedad de Tecnatom. Puesto que no necesitamos la orientación de la muestra hacia ninguna fuente que emita una magnitud, simplemente se posicionará el equipo en la estufa sin ninguna otra directriz que la de que no esté en contacto

con las paredes de la misma y otros equipos que pudieran encontrarse ya en ensayo térmico.

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la tabla 5.4-3.1B:

ENSAYOS FUNCIONALES tras COMPORTAMIENTO EN EL t 4.1	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-3.1B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.1

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

Se realizan los envíos de las muestras al LAB 3 para proseguir con el resto de ensayos de comportamiento en el tiempo

- **3.2 Vibraciones**

Una vez los equipos están en las dependencias del LAB 3, estos ensayos se realizan en una mesa vibratoria monoaxial, donde se hace vibrar las muestras en las tres direcciones de los ejes cartesianos (un ensayo para cada eje) en busca de alguna frecuencia de resonancia que pudiera causar daños que perjudicasen y/o interrumpiesen el correcto funcionamiento del equipo. Para ello se realiza un barrido de frecuencias. Para ello, se sitúan acelerómetros en las muestras, así como en la mesa de vibración, de tal modo que dividiremos la aceleración de los acelerómetros de la muestra entre la obtenida en la mesa. Cuando este cociente sea mayor que 2 unidades, se considerará frecuencia de resonancia natural.

El equipo será alimentado con la misma tensión que en el apartado 2.1 El estudio queda de la siguiente manera:

EQUIPO	Barrido de frecuencia	Desplazamiento	Ensayo	Frecuencia de resonancia
S1	10 a 58 Hz (v = cte.)	$\pm 0,015$ mm	Vibración en eje OX	Sin frecuencia de resonancia
			Vibración en eje OY	S.f.r.
			Vibración en eje OZ	S.f.r.
	58 a 500 Hz (a = cte.)	$\pm 0,15$ mm	Vibración en eje OX	414 a 428 Hz
			Vibración en eje OY	242 Hz
			Vibración en eje OZ	S.f.r.
M2	10 a 58 Hz (v = cte.)	$\pm 0,015$ mm	Vibración en eje OX	S.f.r.
			Vibración en eje OY	S.f.r.
			Vibración en eje OZ	S.f.r.
	58 a 500 Hz (a = cte.)	$\pm 0,15$ mm	Vibración en eje OX	151 a 154 Hz
			Vibración en eje OY	193 a 195 Hz
			Vibración en eje OZ	S.f.r.

L2	10 a 58 Hz (v = cte.)	$\pm 0,015 \text{ mm}$	Vibración en eje OX	S.f.r.
			Vibración en eje OY	S.f.r.
			Vibración en eje OZ	S.f.r.
	58 a 500 Hz (a = cte.)	$\pm 0,15 \text{ mm}$	Vibración en eje OX	150 Hz
			Vibración en eje OY	240 Hz
			Vibración en eje OZ	S.f.r.

Tabla 5.4-3.2A – Parámetros de ensayo 3.2

Se realizaron 1 ciclo por eje y se han representado las frecuencias o bandas de frecuencia donde se encontraron resonancias. El criterio fue el de considerar frecuencia de resonancia natural si al dividir la aceleración del acelerómetro en el equipo entre la aceleración del acelerómetro en la mesa el cociente era mayor que 2. El barrido de frecuencias es continuo desde los 10 hasta los 58 Hz, realizando el cambio de frecuencia a la velocidad 1 Hz por minuto. A partir de 58 Hz el barrido se realiza a aceleración constante de octava por minuto.

A pesar de encontrar frecuencias de resonancia, estas no resultan perjudiciales ya que la señal eléctrica del equipo durante todo el ensayo respetó los límites que establecía el cliente. Además, estas frecuencias de resonancia no son peligrosas bajo el criterio que impuso el fabricante puesto que el equipo no actuará en la contención sometido a ninguna de esas frecuencias. De lo contrario el equipo debería haber sido reforzado y/o rediseñado de modo que, al repetir la búsqueda de frecuencias, estas frecuencias peligrosas de equipos anexos no lo hicieran entrar en resonancia.

(De haber encontrado una frecuencia de resonancia a 50 Hz, la misma frecuencia que la que encontramos en la red eléctrica convencional. En ese caso si tendríamos que haber reforzado el equipo para absorberla)

En el apartado 5.2 de sismo, veremos que este ensayo nos será útil de cara a analizar la integridad del equipo frente a un terremoto

El equipo fue anclado a la mesa a través de un soporte metálico realizado en Tecnatom al cual se atornilla también a la mesa vibratoria. Esta mesa vibratoria con capacidad de accionamiento biaxial cuenta con un gato hidráulico horizontal y otro vertical que accionan la mesa hasta en dos direcciones a la vez. En este ensayo el accionamiento se realiza solo en un único eje por lo que solo actuará uno de los gatos hidráulicos. Únicamente se hace vibrar el equipo y no el controlador eléctrico ya que a el programa particular de calificación del CLT no considera que el controlador vaya a sufrir vibraciones

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la tabla 5.3.2.2:

ENSAYOS FUNCIONALES tras COMPORTAMIENTO EN EL t 4.2	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-3.2B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.2

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

- 3.3 Frío

Se exponen los equipos a las temperaturas más bajas que podrían sufrir durante su servicio en la contención. Se toman periodos máximos especificados por el CLT, realizando así una exposición extrema con criterios conservadores de seguridad. Para la rampa de descenso de temperatura, se siguen los 0,8°C/min del envejecimiento térmico, pero en sentido negativo. Al finalizar el periodo de

ensayo, el equipo se mantiene en la cámara climática con la puerta de la misma abierta para que éste vaya atemperándose por convección natural hasta la temperatura ambiente. Esta vuelta a las condiciones ambiente durará tanto como fuese necesario. El estudio queda de la siguiente manera:

EQUIPO	Temperatura de ensayo ($\pm 2^{\circ}\text{C}$)	Rampa ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	Duración (h)
S1	-20	- 0,8	72
M2			
L2			

Tabla 5.4-3.3A – Parámetros de ensayo 3.3

Los ensayos se realizaron en las cámaras climáticas del LAB 3 siguiendo las mismas directrices de posicionado de equipos que para el envejecimiento térmico.

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la Tabla 5.4-3.3B:

ENSAYOS FUNCIONALES tras COMPORTAMIENTO EN EL t 4.3	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-3.3B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.3

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

- 3.4 Calor húmedo

Tras finalizar los ensayos de frío, las muestras se mantienen en las dependencias del LAB 3 para proseguir con los ensayos de calor húmedo, los cuales se realizarán en las mismas cámaras. Se mantienen los criterios conservadores de seguridad para programar la rampa que alcanzará la temperatura (+0,8°C/min) durante varios ciclos. Además, en este ensayo tendremos un control exhaustivo de la humedad, tanto en la rampa de subida como en la fase de temperatura constante y en la atemperación hasta alcanzar la temperatura ambiente. La atemperación se realiza del mismo modo que para el envejecimiento térmico, con un periodo mínimo de 4 horas en la cámara regulando, como venimos de explicar, el control de humedad. El estudio queda de la siguiente manera:

EQUIPO	HR rampa (%)	Rampa (°C/min)	HR ensayo (%)	Temperatura de ensayo (± 2°C)	HR atemperam. (%)	Duración (h/ciclo)	Nº de ciclos
S1	90 a 95	0,8	95 a 100	55	90 a 95	24	6
M2							
L2							

Tabla 5.4-3.4A – Parámetros de ensayo 3.4

Los ensayos se realizaron en las cámaras climáticas del LAB 3 siguiendo las mismas directrices de posicionado de equipos que para el envejecimiento térmico.

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la Tabla 5.3.4.2:

ENSAYOS FUNCIONALES tras COMPORTAMIENTO EN EL t 4.4	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-3.4B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.4

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

- 3.5 Niebla salina

Siguiendo los ensayos climáticos, pasamos a realizar en las mismas cámaras el ensayo de niebla salina. Este ensayo consta de un solo periodo continuo como en el envejecimiento térmico y el ensayo de frío. Además de controlar la temperatura, tendremos una aspersión que simule la niebla salina, por lo que además necesitaremos un control de la concentración y el pH de la misma. La rampa de temperatura se mantiene en 0,8°C/min. No se realiza una regulación de humedad para este caso. El estudio queda de la siguiente manera:

EQUIPO	Rampa (°C/min)	Temperatura de ensayo (\pm 2°C)	Concentración aspersión (\pm 1%)	PH aspersión	Duración (días)
S1	0,8	35	5	6,5 a 7,2	7
M2					
L2					

Tabla 5.4-3.5A – Parámetros de ensayo 3.5

Los ensayos se realizaron en las cámaras climáticas del LAB 3 siguiendo las mismas directrices de posicionado de equipos que para el envejecimiento térmico.

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la tabla 5.3.5.2:

ENSAYOS FUNCIONALES tras COMPORTAMIENTO EN EL t 4.5	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-3.5B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.5

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

- 3.6 Funcionamiento prolongado

En este último ensayo climático, al contrario que en todos los anteriores, el equipo sí será alimentado con la misma tensión que en el apartado 2.1. Ésta alimentación se realiza a través de unos cables que se hacen llegar al interior de la cámara por unos pasadores de los que dispone la misma.

Una vez hemos obtenido el modelo de equipo más envejecido que tendremos al final de la vida útil de éste (40 años) y tras ponerlo a prueba en las condiciones más extremas que sufrirá, se realiza el ensayo que nos muestre un funcionamiento continuado durante un tiempo considerable a las condiciones que lo hará en planta. La rampa de temperatura se mantiene en 0,8°C/min. Tras esto se realiza la misma atemperación con la puerta de la cámara abierta. El estudio queda de la siguiente manera:

EQUIPO	Rampa (°C/min)	Temperatura de ensayo (\pm 2°C)	Duración (horas)	Alimentación
S1	0,8	80	300	Sí
M2				
L2				

Tabla 5.4-3.6A – Parámetros de ensayo 3.6

Los ensayos se realizaron en las cámaras climáticas del LAB 3 siguiendo las mismas directrices de posicionado de equipos que para el envejecimiento térmico.

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la Tabla 5.3.6.2:

ENSAYOS FUNCIONALES tras COMPORTAMIENTO EN EL t 4.6	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-3.6B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 3.6

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

Fase 4

En la última fase de ensayos donde se encuadran los ensayos de simulación de accidentes, los equipos realizarán varios desplazamientos. Los equipos S1, M2 y L2 continúan la campaña viajando al LAB 5, sismo en el LAB 4 y finalizarán con el ensayo

clave que se realizará en las dependencias TECNATOM; el ensayo de accidente termodinámico de fallo tipo L.O.C.A.

Estos ensayos, también conocidos como ensayos destructivos, aseguran el funcionamiento del equipo incluso tras haber sufrido uno de los accidentes que le serán aplicados. Además, en esta campaña se realiza el ensayo de irradiación, donde se expone al equipo a una dosis equivalente de radiación a la cual será expuesto en toda su vida útil.

Como todas las fases y de aquí en adelante, estos ensayos fueron realizados por los técnicos del LAB correspondiente, guiados y supervisados por mi persona y por el ingeniero Tecnatom correspondiente.

- 4.1 Irradiación

El ensayo de irradiación se realiza en las instalaciones del LAB 5, con una instalación INB (Instalación Nuclear de Base) específicas para tal cometido. El material será sometido a radiación gamma gracias a su exposición frente a 3 barras de irradiación de Cobalto 60 hasta alcanzar su dosis de radiación acumulada establecida por el CLT, la cual se mide en KGy. Para ello se expone el equipo ante dichas barras dentro de la instalación de manera que se controla la temperatura del proceso y la velocidad de absorción de radiación (KGy/h).

La instalación consta de varias dependencias:

- Piscina: Recinto lleno de agua desmineralizada donde permanecen sumergidas las barras de Cobalto 60 para mantener neutralizada la radiación.
- Célula de Exposición Radiactiva: Habitación con paredes gruesas de hormigón que impidan dejar salir la radiación gamma. En el existe una zona donde se realiza la exposición a través de elevar las barras desde el interior de la piscina gracias a la ayuda de un motor. Además cuenta con unas paredes con disposición de laberinto para asegurará que la radiación no sale del habitáculo. El equipo en cuestión entra por una puerta, la cual dispone de un sistema de bloque con el

que estas nunca podrán encontrarse abiertas al mismo tiempo que las barras están fuera del agua.

- Sala de control: Desde donde se supervisa el funcionamiento de la instalación, controlando temperatura, velocidad de la irradiación, posicionado de las barras... etc.

La dosis de radiación es previamente calculada por el CLT, quién realiza la misma en función de las dimensiones del equipo, su posición en planta, sus caras expuestas... etc. Siempre manteniendo criterios conservadores de seguridad nuclear.

En este caso, se realizaron los ensayos de irradiación por separado entre los controladores electrónicos y los equipos, es decir, 6 irradiaciones en total.

El ensayo se realizó con los siguientes parámetros para cada muestra:

EQUIPO	Temperatura de ensayo ($\pm 3^{\circ}\text{C}$)	Velocidad (KGy/h)	Dosis a recibir (+10% KGy)
S1	70	> 1	75
M2			75
L2			100

CONTROLADOR	Temperatura de ensayo ($\pm 3^{\circ}\text{C}$)	Velocidad (KGy/h)	Dosis a recibir (+10% KGy)
S1	70	> 1	50
M2			
L2			

Tabla 5.4-4.1A – Parámetros de ensayo 4.1

Para medir la dosis que recibe la muestra, tanto en los ensayos de los equipos como en los de sus tres controladores electrónicos, el equipo del laboratorio coloca dosímetros en la muestra y realiza dos mediciones a dos alturas en la cara

frontal y en ambos laterales (5 medidas). De este modo se recibe la radiación que el equipo va acumulando en cada cara y así poder ir reposicionándolo para alcanzar la dosis en todas las caras. Se realizaron 4 rotaciones de 90° para que el equipo absorbiera dicha radiación de manera homogénea y por ello se tuvo en cuenta que cada cara estaría una vez en posición frontal, 2 veces en posición lateral y una vez en posición trasera a la hora de calcular la dosis recibida en cada posición y en total.

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la Tabla 5.4-4.1B:

ENSAYOS FUNCIONALES tras CC DE ACCIDENTE 5.1	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK (mínima oxidación en algunos roscados)
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-4.1B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 4.1

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

- **4.2 Sismo**

Se trasladan los equipos a las dependencias del LAB 4 para la simulación del ensayo sísmico. Para ello, se disponen de las frecuencias de resonancia calculadas al término del ensayo vibratorio 4.2

Es entonces cuando se procede a simular un terremoto. Para ello se someterá al equipo a una serie de oscilaciones aleatorias en las tres direcciones de los ejes cartesianos siguiendo el espectro sísmico que especifica el programa particular de calificación. Este espectro está basado en el espectro que propone la RCC-E de la figura X (los SDD y DSD), el cual por motivos de confidencialidad no será

revelado. En concreto se aplicarán 5 ciclos con un perfil DSD y 1 ciclo SDD en los tres ejes. A través de software se convierten estos perfiles de frecuencia - tiempo a aceleración - tiempo para programar la mesa vibratoria, como ya se explicó en el epígrafe de vibratorio.

Por la ausencia de una mesa triaxial que aplicase los movimientos en los tres ejes de manera simultánea, se usó una mesa vibratoria biaxial, de manera que los ciclos se aplican en dos ejes de manera simultánea y tras esto se realizó un giro de 90° para completar los tres ejes.

El ensayo se realizó con los siguientes parámetros para cada muestra:

MUESTRA	Nº de ciclos	Ejes de oscilación
S1	5 DSD	OX y OY
	1 SDD	OY y OZ
	5 DSD	OX y OY
	1 SDD	OY y OZ
M2	5 DSD	OX y OY
	1 SDD	OY y OZ
	5 DSD	OX y OY
	1 SDD	OY y OZ
L2	5 DSD	OX y OY
	1 SDD	OY y OZ
	5 DSD	OX y OY
	1 SDD	OY y OZ

Tabla 5.4-4.2A – Parámetros de ensayo 4.2

Tras estos ensayos se obtienen los espectros de respuesta a partir del acelerómetro situado en la base de la mesa, donde se comprueba que las vibraciones aplicadas son, efectivamente superiores a ambos perfiles de sismo (ver figura X 4b). Igualmente, todas las frecuencias del espectro de respuesta no

caen por debajo de un 10% del valor del espectro de referencia, lo que hubiera hecho en el caso del DSD que se repitiese hasta cumplir el criterio (puesto que este ensayo supone un envejecimiento mecánico, no destructivo) y en el SDD que el ensayo fuera no conforme (puesto que es la representación de un terremoto)

El equipo y el controlador son anclados a la mesa a través de un soporte metálico realizado en Tecnatom al cual se atornilla también a la mesa vibratoria. Esta mesa vibratoria con capacidad de accionamiento biaxial cuenta con un gato hidráulico horizontal y otro vertical que accionan la mesa hasta en dos direcciones a la vez. Es importante destacar que el equipo estuvo alimentado durante todo el ensayo, al contrario que para el vibratorio

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la tabla 5.4-4.2B:

ENSAYOS FUNCIONALES tras CC DE ACCIDENTE 5.1	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-4.2B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 4.2

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

- **4.3 Ensayo de simulación de accidente termodinámico (fallo L.O.C.A)**

Una vez han regresado los equipos a las dependencias de Tecnatom, comienza el último ensayo de simulación de fallo en servicio tipo L.O.C.A. en las instalaciones propias. Este ensayo siempre se realiza al final de cualquier campaña que lo requiera por estar considerado como un ensayo destructivo.

Este ensayo consiste en representar los transitorios de temperatura y presión a los que se podría ver sometido un equipo que operando en la contención observase un accidente de rotura de una línea de alta energía (HLEB), una línea de vapor (MSLB) o una rotura de la línea de refrigeración del reactor (LOCA).

Todo el ensayo se realiza en la cámara de simulación de Tecnatom, donde se inyecta vapor saturado a la misma a través del accionamiento de válvulas manuales (caldera de generación de vapor, intercambiadores de calor, etc.) y de otras controladas por un software de control adaptativo predictivo (ADEX). A través del perfil proporcionado por el CLT (perfil obtenido al perfil tipo que muestra, en este caso la RCC-E) los ingenieros monitorizan las acciones que realizan los operarios para lograr dicho perfil. El habitáculo de la cámara va recibiendo, a través de una bomba de la instalación que controla el ingeniero por medio del ADEX, el vapor saturado, aumentando así la presión y la temperatura. Los ingenieros, irán dictando a los operarios el ritmo de apertura manual de la válvula de alivio a través de lo monitorizado por los gráficos con el fin de moverse dentro de los márgenes aceptables del perfil P-T. Adicionalmente, si el estudio lo requiriese, habría que controlar también el caudal y tiempo del rociado químico de agua borada, así como revisar el pH de la solución química.

Por otro lado, el perfil proporcionado por el CLT se estudia con el fin de garantizar las características termodinámicas del mismo durante el ensayo. De no ser factible, se comenzará por mantener la temperatura y corregir la presión, siempre que esta última no sea un factor crítico según el CLT, caso en el cual se actuará modificando temperatura y manteniendo presión. Conforme a la normativa, por norma general, los márgenes del tramo de accidente o primer “pico” pueden ser mayores en 8°C para la temperatura y 10% en la presión. En el caso de nuestro perfil, se pudieron alcanzar las condiciones pedidas con el mayorado mencionado.

Debemos tener en cuenta que cada equipo de medida involucrado requiere correcciones según su ficha técnica de calibración, lo cual ha de conocerse de cara a aplicar las consignas adecuadas para generar los perfiles de P y T deseados. Se considera que los márgenes de ensayo ya cubren la incertidumbre de medida de los equipos de medida, puesto que, de lo contrario, sumando incertidumbres podríamos penalizar doblemente el equipo ensayado. Tecnatom, con más de 40 años de experiencia en este campo de actuación, calcula los márgenes, como práctica interna, siempre cubriendo 2°C y 0,1 Kg/cm² todos los perfiles LOCA. Este margen pretende cubrir una eventualidad no deseada.

El perfil usado para dicho ensayo LOCA fue el mostrado en la Figura 4.4-4 por la normativa RCC-E con pequeñas variaciones de temperatura que resultan desde el perfil solicitado por el CLT, al programado como entrada del ADEX, hasta que este devuelve el perfil resultante. Esto se explica en la figura LEIE:

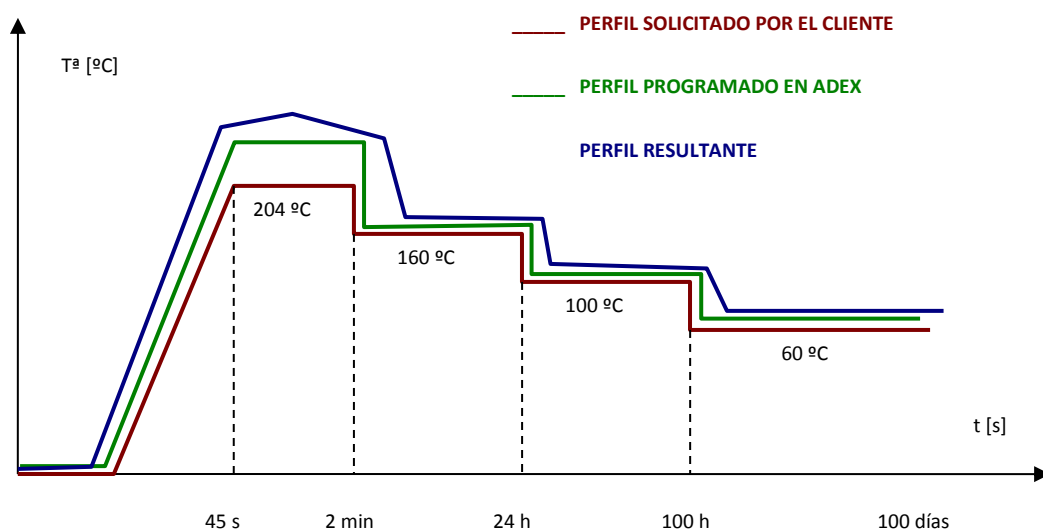


Figura 5.4-4.3– Ejemplo de desviación de perfiles LOCA

El ensayo se realizó con los siguientes parámetros para cada muestra:

Fase	Condiciones iniciales	Duración	Condiciones finales
Fase 0	T = 15 a 35 °C	24h	T = 15 a 35 °C
	P = 100 KPa		P = 100 KPa
Fase 1	T = 15 a 35 °C	No especificados	T = 50 °C
	P = 100 KPa		P = 100 KPa
Fase 2	T = 50 °C	24h	T = 50 °C
	P = 100 KPa		P = 100 KPa
Fase 3 (1er Pico)	T = 50 °C	30'' alcance + 12' mantenimiento	T = 156 °C
	P = 100 KPa		P = 558 KPa
Fase 4	T = 156 °C	No especificados	T = 50 °C
	P = 558 KPa		P = 100 KPa
Fase 5	T = 50 °C	24h	T = 50 °C
	P = 100 KPa		P = 100 KPa
Fase 6 (2º Pico)	T = 50 °C	30'' alcance + 30' de pico +95.5h de enfriamiento forzado	T = 73 °C
	P = 100 KPa		P = 200 KPa
Fase 7	T = 73 °C	240h	T = 73 °C
	P = 200 KPa		P = 200 KPa
Fase 8	T = 73 °C	No especificados	T = 15 a 35 °C
	P = 200 KPa		P = 100 KPa

Tabla 5.4-4.3A – Parámetros de ensayo 4.3

Los ensayos se realizaron en las cámaras climáticas del LAB 3 siguiendo las mismas directrices de posicionado de equipos que para el envejecimiento térmico.

Los ensayos funcionales finales fueron llevados a cabo con el resultado de la tabla 5.4.3.2:

ENSAYOS FUNCIONALES tras COMPORTAMIENTO EN EL t 4.4	
Ensayo	Resultado
Inspección Visual	OK
Resistencia de Aislamiento	OK
Rigidez Dieléctrica	OK
Resistencia del Circuito	OK

Tabla 5.4-4.3B – Resultados de ensayos funcionales tras ensayo 4.3

Al término de estos ensayos se notifica a CLT y FAB la consecución y los resultados de los mismos, recibiendo la validación para seguir adelante con la campaña de ensayos.

- 4.4 Características intrínsecas finales

En este ensayo, se trasladaron los equipos al fabricante para que este testase sus valores de referencia. Observando que los valores de estos equipos no diferían apenas de los valores iniciales, el FAB acredita las correctas características intrínsecas de los equipos

5.4.4 Informe final de calificación

A través de los ensayos realizados sobre el EQUIPO conseguimos poner a prueba el mismo en sus condiciones de servicio más desfavorables durante su ciclo de vida. A su vez hemos demostrado el proceso completo de calificación nuclear por ensayo detallando cada uno de sus pasos.

Tras haber sido superados todos los ensayos a los que se sometió al EQUIPO, como así lo acreditan las verificaciones finales de los mismos, TECNATOM acredita la viabilidad de la instalación y puesta en marcha de los mismos en la CCNN correspondiente. El EQUIPO será por tanto instalado a principios de 2017 (coincidiendo con la parada de mantenimiento de su CCNN) y estando su vida útil calificada para 20 años, su operatividad se mantendrá hasta 2037

VI. PLANIFICACIÓN ECONÓMICA

Antes de la ejecución del programa que se mostró en el epígrafe V, Tecnatom calcula los costes totales del proyecto. Los costes que se calculan se clasifican en cinco apartados, saber:

- Costes de consumibles/materiales: Son los costes para todos los materiales o consumibles específicos que el proyecto requerirá. Por ejemplo, soportes especiales para el fijado de las muestras a las mesas sísmicas y/o a la cámara L.O.C.A., herramientas para manipular el equipo (si estas no fueran provistas por el fabricante) y cualquier otra inversión directa con la manipulación y el funcionamiento del equipo durante los ensayos.
- Costes de viajes y dietas: Son los costes de desplazamiento y de dietas de los empleados de Tecnatom fuera de su puesto habitual de trabajo. Esto se requiere cuando han de realizarse desplazamientos a la sede del cliente o del fabricante para cerrar ciertos acuerdos, modificaciones, etc. o a las dependencias de los laboratorios asociados con el fin de guiar y supervisar los ensayos
- Costes de servicios exteriores: Clasifican los costes de subcontratas involucradas en el proyecto. Además de la subcontratación de los laboratorios para ciertos ensayos, Tecnatom subcontrata los servicios de transportistas, traductores e incluso, en algunos casos, asesores especializados.
- Costes de mano de obra: Agrupan los costes de pago a trabajadores por horas de trabajo realizadas. Hemos de tener en cuenta que en cada proyecto intervienen distintos trabajadores con distintos niveles corporativos de especialización, lo cual repercute en su coste de hora trabajada. Igualmente, el coste de la hora trabajada por un trabajador desplazado asciende.
- Coste de CFH's (Costes Financieros Homologados): Son los costes no específicos del proyecto. Consisten fundamentalmente en el gasto y la amortización parcial de las instalaciones Tecnatom que sirven para realizar ensayos, como por ejemplo, la instalación de cámara L.O.C.A., las cámaras climáticas, etc. Para pequeños equipos de medida, como por ejemplo, teluómetros, polímetros, generadores de frecuencia, etc., no se contemplan ni sus gastos ni sus amortizaciones en el contrato de un proyecto. Estando los costes por unidad de tiempo de GFH ya prefijados por la organización, calculamos el tiempo que se hará uso de dichas instalaciones.

Además, Tecnatom realiza una estimación de los imprevistos que podrían surgir en el proyecto. De este modo se calculan unos segundos costes más conservadores, de tal modo que esto queda previsto en el departamento financiero y el proyecto cuenta con unos fondos reservados que se usarían solo si los imprevistos se cumplieran.

Una vez los costes están calculados, Tecnatom calcula el margen a aplicar sobre el contrato que hará llegar al cliente por medio de una oferta formal. El margen varía en función de parámetros como el volumen de negocio con el cliente, antigüedad del cliente, la exclusividad de ciertos ensayos, interés por el mercado, competencia, etc.

Por motivos de confidencialidad, como ya se mencionó en el epígrafe I, no podrán mostrarse los números originales del proyecto.

VII. CONCLUSIÓN

Apoyándonos en la conclusión del informe final de calificación donde observamos que el EQUIPO soportó los ensayos a los que fue sometido y atendiendo a la totalidad del proyecto hemos logrado:

- Mostrar las diferencias entre los procesos de dedicación y calificación nuclear, centrándonos en el segundo para hacer un recorrido desde las normativas internacionales pasando por el estudio de la normativa francesa para equipos eléctricos (RCC-E) hasta llegar a la calificación de un EQUIPO electromagnético que siguió dicha normativa
- Se han mostrado los diferentes tipos de calificación y se ha particularizado para elaborar en base a la RCC-E el mapa de ensayos de la calificación nuclear tipo K1 de un EQUIPO electromagnético. Para ello nos hemos apoyado en la literatura de la propia normativa, así como en otras calificaciones similares realizadas en el pasado por el grupo TECNATOM.
- Dentro del diseño de los ensayos, se mostró en el estudio previo de la RCC-E los detalles y particularidades de los ensayos de accidente, a saber, vibratorio, envejecimiento térmico, LOCA y sísmico. Igualmente, se ha desarrollado una herramienta Excel con la que calcular el envejecimiento técnico de Arrhenius de manera rápida y sistemática.
- Hemos detallado el orden de los ensayos, el cual fue seguido de manera rigurosa y con una trazabilidad demostrable a través de los informes que generó el proyecto. Junto con la explicación de dichos ensayos, se generaron resultados que han sido mostrados en la medida que el contrato de confidencialidad firmado por las tres partes (CLIENTE, FABRICANTE y TECNATOM) así lo permitía.
- Se han desglosado los costes a cubrir por el proyecto a través del estudio de los mismos y la posterior aplicación del margen económico por parte del responsable de departamento. No se entró a valorar las cifras exactas por motivos confidenciales y tampoco se muestran detalles de la decisión del margen a aplicar puesto que no tuvo que ver nada con el autor de este proyecto.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Bibliografía

http://es.wikipedia.org/wiki/Moratoria_nuclear

<http://www.tecnatom.es/inicio/areas-de-actividad/gestion-de-repuestos/calificacion-ambiental-y-sismica-y-dedicacion-de-equipos-y-componentes>

http://www.afcen.com/index.php?menu=presentation_codes_en

<http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnatom>

<http://portal/keops20/empresa>

www.nucleartourist.com

<http://www.arisafety.com/es-mx/support/faqs/insulation-resistance.aspx>

[https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9gimen_transitorio_\(electr%C3%B3nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9gimen_transitorio_(electr%C3%B3nica))

<http://www.docin.com/p-302020782.html>

https://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaci%C3%B3n_de_Arrhenius

https://es.wikipedia.org/wiki/Constante_de_Boltzmann

[https://es.wikipedia.org/wiki/Gray_\(unidad\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Gray_(unidad))

<http://www.noldor.com.ar/noldorweb/detalles/plantas.htm>

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1738573315301224>

<http://www.nucleartourist.com/systems/eccs.htm>

<http://nrcoe.inel.gov/resultsdb/publicdocs/SystemStudies/nureg-cr-5500-vol-9.pdf>

https://es.wikipedia.org/wiki/Accidente_base_de_dise%C3%B1o

- Artículo científico: “SBLOCA en PWR. POEs y árbol de sucesos”, César Queral Salazar y Gonzalo Jiménez Varas, SEGURIDAD NUCLEAR, ETSI INDUSTRIALES

Encabezado

- Normativas:

RCC-E

UNE 73 109

CEI 60068 (sismo)

IX. ANEXOS

ANEXO A

	Domaines de variations et appréciations			
Grandeurs et facteurs d'influence	Zones extérieures	Zones abritées	Zones intérieures	
			Locaux chauffés	Locaux chauffés et réfrigérés
Température de l'air ambiant :	Ces valeurs génériques peuvent être amendées par les cahiers de données de projet			
Valeurs extrêmes	-25°C à +40°C	-25°C à +40°C	+5°C à +40°C	+10°C à +30°C
Valeur maximale de la moyenne journalière	+30°C	+30°C	+30°C	+25°C
Valeur moyenne annuelle	+20°C	+20°C	+23°C	+23°C
Humidité relative	0 à 100 %	0 à 100 %	0 à 70 %	0 à 70 %
Eau	Projections dans toutes directions	Projections dans toutes directions	Néant	Néant
Pression atmosphérique	86 à 106 kPa	86 à 106 kPa	86 à 106 kPa	86 à 106 kPa
Echauffement supplémentaire par rapport à la température ambiante par rayonnement et conduction	0 K en air renouvelé +15 K en air non ou peu renouvelé	0 K en air renouvelé +15 K en air non ou peu renouvelé +30 K en zone très chaude	0 K en air renouvelé +5 K en zone non ou peu ventilée	0 K en air renouvelé +5 K en zone non ou peu ventilée
Poussières Sel Gaz (SO2) Mélanges détonants	Nombreuses Air salin Néant Néant (sauf cas spéciaux à préciser)	Nombreuses Air salin Néant Néant (sauf cas spéciaux à préciser)	Négligeables Néant Néant Néant (sauf cas spéciaux à préciser)	Néant Néant Néant Néant (sauf cas spéciaux à préciser)
Radiations ionisantes	néant	néant	néant (sauf cas spéciaux à préciser)	néant (sauf cas spéciaux à préciser)
Vibrations du support :				
Pour les fréquences de 10 à 500Hz :				
1) Cas général : matériels fixés directement au génie civil	< 0,2 m.s-2	< 0,2 m.s-2	< 0,2 m.s-2	< 0,2 m.s-2
2) Matériels reliés au génie civil par support rigide avec amplification faible en fonction de la fréquence (facteur < 2 à 3)	< 2 m.s-2	< 2 m.s-2	< 2 m.s-2	< 2 m.s-2
3) Matériels non découplés d'une source de vibrations (telle que machine tournante) Note : Les valeurs de fréquence peuvent être adaptées par les grandeurs d'influence particulières du B3300 jusqu'à 2000 Hz	< 6 m.s-2	< 6 m.s-2	< 6 m.s-2	< 6 m.s-2
Vitesse maximale de l'air	150 km/h	Néant	Néant	Néant

ANEXO B

Ver ANEXO Arrhenius (Documento Excel)